

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
(Agrikulturchemisches Institut)
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. phil. Hans Linser

Untersuchungen zur Frage der P-Versorgung
mittelafrikanischer Böden und der P-Wirkung
verschiedener Phosphatdüngemittel

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Gabriel Olufemi Obigbesan
aus Ijebu-Igbo, Nigeria

Gießen, im Juli 1970

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
(Agrikulturchemisches Institut)
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. phil. Hans Linser

Untersuchungen zur Frage der P-Versorgung
mittelafrikanischer Böden und der P-Wirkung
verschiedener Phosphatdüngemittel

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von
Gabriel Olufemi Obigbesan
aus Ijebu-Igbo, Nigeria

Gießen, im Juli 1970



Dekan:

Prof. Dr. Waßmuth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Linser

2. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 13.7.1970

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite:</u>
I Einleitung	1
a) Besonderheiten tropischer Böden	9
b) Ziel der Arbeit und Fragestellung	13
II Die Versuchsböden, Herkunft und Eigenschaften	15
a) Böden aus Nigeria	15
b) Böden aus der BRD	22
c) Böden aus Ghana und Liberia	23
d) Böden aus Äthiopien	24
e) Böden aus Malawi	26
f) Böden aus Tansania und dem Kongo	26
III Umsetzungsversuche ohne Pflanzen	28
Methodik der Versuchsanstellung	31
A 1. Umsetzungsversuch mit Rhenania-, Thomas- und Superphosphat	32
B 2. Umsetzungsversuch mit markiertem Superphosphat	38
C 3. Umsetzungsversuch mit Rhenania-, Thomas- und Superphosphat	42
D 4. Fraktionierung des anorganischen Phosphates im Boden vor und nach der Düngung	47
Zusammenfassung der Ergebnisse der P-Fraktionierung	57
IV Die Vegetationsversuche mit Salat	59
A Allgemeines	59
Technik der Salatmethode	62
B Versuch mit markiertem Superphosphat	65
Versuchsergebnisse	66
Vegetationsbeobachtungen und Ausnutzung der Dünger-P ₂ O ₅	66
C Versuch mit verschiedenen Phosphatdüngern (Rhenania-, Thomas- und Superphosphat)	72
Versuchsergebnisse	72
1. Vegetationsbeobachtungen der Böden Nr. 6-12 und Ausnutzung der verschiedenen Düngemittel	72
2. Vegetationsbeobachtungen der Böden Nr. 13-16, 26 und 27 sowie die P-Ausnutzung	79
3. Vegetationsbeobachtungen der Böden Nr. 17-22 sowie die P-Ausnutzung	82

4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Salatver- suche	88
5. Eignung der Salatmethode zur Charakterisierung des P-Zustandes tropischer Böden	90
6. Zusammenhänge zwischen P-Aufnahme im Salatver- such und E-Wert, L-Wert sowie P-Sorption	91
V Diskussion der Versuchsergebnisse	100
VI Zusammenfassung	120
VII Literaturverzeichnis	127

I EINLEITUNG

Das endgültige Ziel der Pflanzenernährung ist die Erzeugung von hohen Erträgen und besserer Qualität. Einer der wichtigsten Produktionsfaktoren ist der Boden als natürlicher Träger und Ernährer der Vegetation, die ihn nicht nur mitgestaltet, sondern die mit ihm zusammen auch eine höhere Einheit, das Bodenvegetationssystem, bildet. Für seine zweckmäßige Nutzung und für seine Verbesserung ist die Kenntnis des Nährstoffhaushaltes eine wesentliche Voraussetzung. Bis heute fehlen hinreichende Kenntnisse über die Mehrzahl der vorkommenden tropischen Böden und die Aufstellung einer alle tropische Böden umfassenden Systematik. Im Vergleich zu den Böden der gemäßigten Klimazone ist der Nährstoffhaushalt der meisten tropischen Böden nur wenig untersucht worden, und es fehlen sogar für einzelne Gebiete die Bodenkarten, die eine wichtige Grundlage oder auch die Voraussetzung für die Erschließung dieser Gebiete darstellen.

Die Anwendung der Mineraldünger, die in der Landwirtschaft der gemäßigten Zone in einem so außerordentlichen Maße zur Steigerung der Ernteerträge und zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit geführt hat, besitzt für die tropische Landwirtschaft eine noch stetig wachsende Bedeutung, insbesondere im Zusammenhang mit der Welternährungslage, mit der wachsenden Bevölkerungszahl, mit der geringeren Produktivität und der stärkeren Verwitterung der tropischen Böden, mit ihrer vielfach starken Verarmung an Pflanzennährstoffen, mit den Entzügen durch die Exportkulturen und mit der mangelhaften Versorgung der tropischen Pflanzungen mit Stallmist.

Die Böden der Tropen produzieren heute die Kulturpflanzen weitgehend ohne die Zufuhr von Handelsdüngemitteln, das heißt, die meisten tropischen Landbau-

systeme basieren ausschließlich auf der natürlichen Nährstoffanlieferung aus dem Boden. Die wenigen Ausnahmen von intensiver Düngung, vorwiegend angewandt auf Plantagen und Versuchsstationen, die bei Exportkulturen sowie einheimischen Nahrungsfrüchten mit neuzeitlichen Düngungsversuchen experimentieren, liefern jedoch den Beweis, daß die Anwendung von Handelsdüngern eine der wichtigsten Maßnahmen zur Steigerung der Bodenproduktivität und zur Sicherung der Ernten in den Tropen darstellt.

Unter den für das Pflanzenwachstum wichtigen Nährstoffen nimmt der Phosphor eine Sonderstellung ein, da vor allem die P-Versorgung weiter tropischer Gebiete unzureichend ist, die am meisten angebauten Knollenfrüchte und Getreidesorten hohe Düngeransprüche an P stellen und weil durch die devisenschaffenden Exportprodukte: - Erdnüsse, Baumwolle und Kakao - die Phosphorsäure neben dem Kalium dem Boden zum größten Teil verlorenght.

In den Jahren 1946 und 1947 betrug der Erdnußexport aus Nigeria 300.000 Tonnen, was einem Nährstoffentzug von 3.000 Tonnen P_2O_5 (17.000 Tonnen Superphosphat) aus den an P mangelnden Böden Nordnigerias entspricht. Die heutige jährliche Produktion von etwa 800.000 Tonnen Erdnußkernen führt in Nigeria zum Entzug von ebensoviel Phosphor, wie er in 45.300 Tonnen Superphosphat enthalten ist.

Die überragende Rolle des Phosphors bei der Ertragsbildung der Pflanzen hinsichtlich Menge und Qualität beruht auf der Tatsache, daß er ein unentbehrlicher Nährstoff ist, der dank seiner besonderen Eigenschaften in die Vorgänge des Energiehaushaltes und des Stoffwechsels aller Lebewesen, so zum Beispiel in die Umwandlung der Kohlehydrate (Glykolyse) oder im Nukleinsäurestoffwechsel wie auch in zahlreichen Zellfunktionen steuernd eingreift.

Um dem genannten Ziel der Pflanzenernährung in tropischen Gebieten nahe zu kommen, ist die Erforschung des Phosphatproblemcs bei den noch nicht untersuchten, aber landwirtschaftlich bereits genutzten Böden unerlässlich.

Vor dreißig Jahren schrieb L.MEYER (1940):"Es muß in Betracht gezogen werden, daß leider heute bestenfalls nur für vielleicht ein bis zwei Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands Bodenuntersuchungen auf Phosphorsäure vorliegen." Diese Bemerkung gilt heute noch für die meisten tropischen Länder.

Die Ermittlung des Düngerbedarfcs stellt eines der schwierigsten Probleme des Pflanzenbaues in den Tropen und in den Subtropen dar, weil langjährige Erfahrungen in der Düngung sowie genauere methodische Kenntnisse noch sehr gering sind. Die tatsächliche Lage in den Tropen ist heutzutage so, daß die meisten Tropenpflanzer gerade damit beginnen, den Düngerbedarf ihrer Böden zu ermitteln.

Eine seit 1948 übliche Methode zur Ermittlung des Düngerbedarfcs der einzelnen Kulturen unter verschiedenen Boden- und Klimaverhältnissen in zahlreichen tropischen Ländern wurde von STEWART (1947) zur Verbesserung des indischen Versuchswesens vorgeschlagen. Es ist ein Doppelprogramm: die Durchführung einfacher Nährstoffsteigerungsversuche an verschiedenen Stellen auf den Feldern der Landwirte und die gleichzeitige Kontrolle dieser Ergebnisse mittels exakter Standardversuche auf ausgesuchten Versuchsfeldern. Das Ziel ist die Erfassung des mittleren Nährstoffbedarfcs für die betreffenden Bodenverhältnisse.

Da solche Düngungsversuche auf dem eigenen Feld des Landwirtes und mit seiner Zusammenarbeit und Beteiligung angelegt werden und von Erfolg gekrönt sind, fundieren sie auf der eigenen Erfahrung des Bauern, der nun erfährt, welche Düngungsmaßnahmen für seine Ver-

hältnisse am günstigsten sind. Diese Methode hat sich durchgesetzt und sie wird von der FAO (Food and Agriculture Organization) empfohlen.

Erst in den Jahren um 1950 hat die Erforschung der Handelsdüngeranwendung unter FAO - Dreedom From Hunger Campaign und dem Fertilizer-Programm sprungartige Fortschritte in den Tropen gezeigt. So haben die Berichte von P.H. NYE und seinen Mitarbeitern weitgehende Klarheit in die Probleme der Nährstoffversorgung von Ghanas landwirtschaftlich genutzter Fläche gebracht. Seine Berichte über die N- und P-Versorgung dieser Böden (1951, 1952) sowie seine Studien über die Bedeutung von Düngemitteln für die einheimischen Nahrungsfrüchte (1953) stellen die Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dar.

In Nordnigeria hat man in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Bodenkartierungen durchgeführt und das Land in Düngungszonen (die sogenannten Fertilizer Response Areas) eingeteilt. Ähnliche Bestrebungen sind in Westnigeria noch im Gange. Auch in Ostnigeria hat der Beratungsdienst begonnen, Beispielsflächen für die Reisdüngung anzulegen, damit die Bauern mit den Möglichkeiten der Handelsdüngeranwendung vertraut gemacht werden. Über ähnliche einfache Düngungsversuche auf den Feldern der Landwirte in Pakistan berichtet VERMAAT (1963). Solche einfachen Düngungsversuche dienen hauptsächlich Demonstrationszwecken und helfen den Bauern, "düngerbewußt" zu werden. Diese Düngungsversuche gelten für die betreffenden Bodenverhältnisse und für die entsprechende Jahreswitterung, aber sie sagen wenig aus über die Ausnutzung der einzelnen Nährstoffe.

Bei der weiteren Erforschung des Phosphathaushaltes tropischer Böden bestehen die wichtigsten Aufgaben darin, Maßnahmen für die erhöhte Ausnutzung der Phosphorsäure zur Verminderung der extrem hohen P-Fixierung zu treffen und Methoden zur Bestimmung der verfügbaren Phosphorsäure auszuarbeiten.

Chemische Methoden zur Erfassung der Pflanzenverfügbarkeit des bodeneigenen Düngerphosphates haben die Agrikulturchemie seit über hundert Jahren beschäftigt. Zur Bestimmung der relativ leichtlöslichen und somit als "pflanzenverfügbar" bezeichneten P-Anteile im Boden wurden seitdem zahlreiche Extraktionsverfahren geprüft und angewandt. Die folgende kurzgefaßte und nicht vollständige Darstellung soll einen Einblick in die historische Entwicklung der Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden vermitteln und einige der wichtigsten Methoden anführen:

SCHULTZE	1864	H ₂ O - Extraktion	
DYER	1894	1 % ige Zitronensäure (pH1,0)	
VON WRANGELL	1926	H ₂ O - Extraktion	
TRUOG	1930	0.002 n H ₂ SO ₄	(pH3,0)
DIRKS - SCHAEFFER	1930	Kohlensäure-Bikarbonat	
EGNER	1932	Ca-Laktat+HCL	(pH3,7)
THORNTON et al	1934	(NH ₄) ₂ Mo O ₄ +HCL	(pH1,0)
MORGAN	1941	10% Natriumacetat + 3% Essigsäure	(pH4,8)
EGNER - RIEHM	1943	Doppellaktatmethode	(pH3,6)
BRAY und KURTZ	1945	NH ₄ F+HCL	(pH3,5)
OLSEN et al	1954	0,5m NaHCO ₃	(pH8,5)
SAUNDER	1956	0,1 n NaOH	

Die Vielzahl der verschiedenen Extraktionsmethoden deutet bereits darauf hin, daß die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden sehr problematisch ist. Die Verschiedenartigkeit der Extraktionsmittel läßt erwarten, daß die unterschiedlichen Methoden ganz verschiedene Werte ergeben müssen. An eine brauchbare Methode zur Bestimmung der Düngerbedürftigkeit wird die Forderung gestellt, daß sie den physiologisch wirksamen Vorrat eines Bodens an Düngernährstoffen richtig anzeigt.

Die Autoren, die chemische Lösungsmittel zur Bestimmung der pflanzenverfügbaren Phosphate im Boden vorschlugen, bevorzugten zunächst saure Lösungen. Als Grund hierfür kann man anführen, daß die Pflanzenwurzel infolge der Ausscheidung von Kohlensäure häufig in einem schwach sauren Medium wächst und daß somit eine schwache Säure oder eine starke Säure in geringerer Konzentration dieses Medium nachahmt.

Nun sind aber Fluorapatite, die zum Beispiel in den Rohphosphaten vorkommen und die dauernd im Boden gebildet werden, den Pflanzen schwer zugänglich, dagegen relativ leicht löslich in geringen Konzentrationen starker Säuren oder in schwachen organischen Säuren, sobald man einen genügenden Überschuß verwendet.

HASENBÄUMER (1931) berichtet, daß nach den zahlreichen Versuchen in Deutschland, bei denen das Zitronensäureverfahren mit dem Neubauer- und Mitscherlichverfahren sowie mit Feldversuchen verglichen wurde, im Großen und Ganzen eine gute Übereinstimmung in 70% und mehr der Fälle erzielt wurde. Für die wasserlösliche Phosphorsäure fielen die Ergebnisse zum Teil noch günstiger aus. Heute ist in ganz Deutschland die Extraktion mit Ca-Laktat nach EGNER-RIEHM (1943, Verbandsmethode ab 1.4.1944) verbreitet. Für tropische Böden als besonders geeignet werden die Methoden nach TROUG (1930), BRAY und KURTZ (1945), OLSEN et al (1954) sowie SAUNDER (1956) angesehen, wobei

es sich, mit Ausnahmen, meistens um eine etwas willkürliche Methodenübernahme handelt, ohne daß eine vorherige lokale und bodenkundliche Erfahrung zugrunde gelegt wurde. So wird zum Beispiel in Westafrika (Nigeria, Ghana) und Südamerika (El Salvador) die Methode nach BRAY angewandt; demgegenüber finden in Indien, Ostafrika und auf den Westindischen Inseln die Methoden von TRUOG, OLSEN sowie BRAY weite Verwendung. Während der häufig angewandte MORGAN-Test (Extraktion mit Natrium-Acetat, Essigsäure, pH 4,8) das Standardverfahren des Tropeninstitutes in Amsterdam (SCHUFFELEN et al, 1961) darstellt, wird die TRUOG-Methode ($0,002n \text{ H}_2\text{SO}_4$, pH 3) im "Imperial College of Tropical Agriculture" auf Trinidad angewandt.

Für westindische Böden gelten die in der Tabelle 1, Seite 8, angeführten derzeitigen Grenzwerte für ausreichende Versorgung. Der Tabelle ist unter anderem zu entnehmen, daß die Eichwerte für das lösliche Phosphat nicht nur nach der Bodenart, sondern auch nach der darauf wachsenden Kulturpflanze aufgestellt sind. Hier zeigt sich, wie schwerwiegend die Aufgabe der Ermittlung des pflanzenverfügbaren Nährstoffes sein kann. Denn die Phosphatformen (Ca-, Al- oder Fe-Phosphat), die vorwiegend von der Pflanze aufgenommen werden, variieren je nach Bodenart, Bodenzustand und auch nach der Art der Kulturpflanze (CHANG, 1965).

Tabelle 1:

Vorläufige Grenzwerte für ausreichende Versorgung mit verfügbaren Nährstoffen auf den Westindischen Inseln (HARDY und RODRIGUES, 1949).

Kulturpflanze	pH	Sande u. Lehme		Schluffe u. Ton	
		TRUOG- Phos- phat ppm P	ver- fügb. Kali ppm P	TRUOG- Phos- phat ppm P	ver- fügb. Kali ppm P
Zucker- rohr	6,5-8,0	11	100	15	140
Baumwolle	6,5-8,0	17	115	24	165
Citrus	5,5-6,8	22	165	37	280
Banane	6,5-7,8	22	125	37	210
Kakao	6,0-7,0	13	85	22	140

Verfügbares Kalium, bestimmt im 0,5 n Essigsäureauszug.

Die üblichen Extraktionsmittel zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Boden-Phosphors zeigen selektives Lösungsvermögen für Ca-, Al- und Fe-Phosphate. Zum Beispiel saure Extraktionsmittel, wie TRUOG's 0,002 n H_2SO_4 -Lösung mit pH 3, lösen hauptsächlich Al- und Fe-Phosphate. Andererseits löst SAUNDER's 0,1 n NaOH hauptsächlich Al- und Fe-Phosphate und nur wenig Ca-Phosphate. Dazwischen kann BRAY's Extraktionslösung ($NH_4F + HCl$) von verschiedenem Säuregrad die drei Phosphatbindungsformen gleichmäßiger in Lösung versetzen, da die Fluorid-Ionen in sauren Lösungen sowohl mit Fe- als auch mit Al-Ionen Komplexverbindungen bilden können. Neben Isotopenverfahren gewinnt die Anwendung der P-Fraktionierung zur Aufklärung des Chemismus des pflanzenverfügbaren Boden-P immer mehr an Bedeutung. Verfügbarer Bodenphosphor, bestimmt durch eine chemische Methode, enthält alle anorganischen P-Formen, hauptsächlich

jedoch Ca-, Al- und Fe-Phosphate. Die gesamte und die relative Phosphatmenge, die aus den verschiedenen Bodenphosphaten durch ein Extraktionsmittel gelöst werden, hängt von den relativen Anteilen der im Boden vorhandenen Ca-, Al- und Fe-Phosphate im Extraktionsmittel ab. Nach zahlreichen neueren Untersuchungen deckt die Pflanze ihren P-Bedarf hauptsächlich durch die anorganischen Phosphate, in erster Linie aus der "Al-P" und aus der "Fe-P" -Fraktion. Zur Untermauerung der Befunde über die (relative) Brauchbarkeit der verschiedenen chemischen Extraktionsmethoden wird eine Fraktionierung des anorganischen Bodenphosphors vor und nach der Extraktion vorgenommen und das unterschiedliche Lösungsvermögen der einzelnen Extraktionsmittel wird so deutlich. Auf diese Weise läßt sich annähernd ermitteln, welche P-Bindungsformen durch die verschiedenen konventionellen Lösungsmittel vorzugsweise erfaßt werden.

Durch die Korrelation solcher Ergebnisse mit den in den Pflanzen ermittelten P-Anteilen (Al-, Fe- und Ca-P) wird die Brauchbarkeit einer Methode genauer beurteilt. In Taiwan (CHANG und JUO, 1963; CHANG, 1965) wird dieses indirekte Verfahren zur Selektion einer geeigneten Methode aus der Vielzahl der möglichen Extraktionsmittel mit Erfolg herangezogen.

a) BESONDERHEITEN TROPISCHER BÖDEN

An dieser Stelle sollen einige Besonderheiten tropischer Böden hervorgehoben werden, denn sowohl über extremen Phosphat-Mangel als auch über sehr hohe Gehalte an verfügbarem Phosphor in den Böden der Tropen wird vielfach berichtet (GREENWOOD, 1951; NYE, 1952; GREEN, 1954; VINE, 1954; PIGGOT, 1956; IGN. TIEFF und PAGE, 1960; GOUROU, 1961 und FINCK, 1963).

Einen aufschlußreichen Vergleich der Fruchtbarkeit tropischer Böden Südamerikas und Afrikas hat d'HOORE

(1956) angestellt. Auch die Ausführungen von IGNATIEFF und LEMOS (1956), ebenso die von BENNEMA (1963) über die Latosole und diejenigen von EDELMANN und VAN DER VOORDE (1963) über Alluvialböden befassen sich mit der Fruchtbarkeit der Böden in den humiden Tropen. Zur Orientierung über den Nährstoffzustand arider Böden gibt KELLOG (1953) eine zusammenfassende Übersicht. Weitere Auskünfte vermitteln YAALON (1957) und VENEMA (1961) über die Kalkung sowie KICK (1963) über die Spurennährstoffe.

Unter den starken humiden Verwitterungsbedingungen in Äquatorialafrika enthalten dort die Kulturböden geringe Anteile toniger Bestandteile und diese liegen in den meisten Fällen als Kaoline vor, deren Sorptionskraft erheblich geringer ist (100 : 6) als die des Montmorillonits.

Ton- und Humuskomplexe sind die Träger der Sorptionskraft des Bodens, und der Ton und der Humus sind diejenigen Substanzen, die den Pflanzen die hydratisierten Kationen zur allmählichen Aufnahme verfügbar halten. Die sandigen Bodenfraktionen bestehen meistens aus grobem Quarzsand, so daß die Böden stark durchlüftet sind, Oxydationsprozesse schnell vor sich gehen und die Auswaschung bei den toretiellen Regenfällen (häufig 3000 mm, Regenwasser meist warm) außerordentlich hoch ist.

Der Gehalt an organischer Substanz im Boden ist relativ gering, insbesondere im Savannenboden. Die organischen Substanzen stehen aber in enger Beziehung zu den Nährstoffen im Boden, erstens, weil sie eine sehr hohe Kationen-austauschkapazität besitzen (150-200me/100g verglichen mit 9me/100g von Ton). (DE ENDREDY und MONTGOMERY, 1954) und zweitens, weil fast die gesamte Bodenreserve an Stickstoff und ein großer Teil des Phosphors mit der organischen Substanz vereinigt sind. Auf diese Weise sind die Bodennährstoffvorräte eng mit der organischen Substanz verknüpft. Die Austauschkapazität der Kulturböden zum Beispiel ist in Ghana größtenteils niedrig, und die Mehrzahl der Austauschpositionen ist assoziiert

mit der organischen Substanz, da die Austauschkapazität der vorherrschenden Tonminerale (Kaolinit) sehr niedrig ist. Sie fällt vom Oberboden zum Horizont des Unterbodens weiter scharf ab. Die Oberböden der Wälder besitzen eine höhere Austauschkapazität als die Savannenböden (NYE und STEPHENS, 1962).

Die meisten Latosole sind sauer und wenig gepuffert; pH-Werte von 4-6 kommen häufig im Oberboden vor, sie nehmen im allgemeinen mit der Tiefe ab (SCHOKALSKAJA, 1953; ENWEZOR und MOORE, 1966). Der Grad der Basensättigung ist meistens gering. In den ariden Gebieten dagegen ist die Bodenreaktion meistens neutral bis alkalisch, pH 7-8,5; der pH-Wert der meisten Anbaugebiete und Savannen in Ghana liegt bei 5,5-7,5. Die Mehrzahl der humiden Tropenböden reagiert nicht auf eine Kalkdüngung, jedenfalls solange der pH-Wert höher als 5,5 liegt. Dagegen können auf stark sauren Böden durch Kalkung Ertragssteigerungen erzielt werden. Die extrem sauren Böden von Südost-Nigeria zum Beispiel, mit pH-Werten von etwa 4,0, die für den Maisanbau ungünstig sind, (OYENUGA, 1967), reagieren gut auf Kalkdüngung. Es besteht infolge der geringen Pufferkraft lateritischer Böden aber leicht die Gefahr der Überkalkung mit negativen Begleiterscheinungen.

Die Humusgehalte der Savannenböden liegen wegen der geringen Substanzproduktion niedriger als die der Waldböden. Da die anorganische Komponente vieler Latosole infolge des Vorherrschens von kaolinitischen Tonmineralien sorptionsschwach ist, stellt sich in den tonarmen Böden vor allem der Humus als Sorptionsträger dar. Während in der gemäßigten Zone die jährliche Stickstoffzunahme des Bodens unter Grasland höher ist als unter Wald, überwiegt in den Tropen die N-Zunahme unter Wald. In tropischen Waldböden ist der Stickstoff unter natürlichen Verhältnissen kein ertragsbegrenzender Faktor. Auf den Savannenböden zeigt sich dagegen der N-Mangel wesentlich ausgeprägter, und er kann häufig schon im

ersten Jahr der Kultivierung beobachtet werden.

In bezug auf den Stickstoff sind aride Böden im allgemeinen nährstoffreicher als humide Böden. Trotzdem liegen die N-Gehalte mancher arider Gebiete aufgrund des geringen Gehaltes an organischer Substanz niedriger als die des Spurenelementes Mangan (FINCK, 1963). Zentrale Probleme bilden hier die Wasserversorgung der Pflanze und die Versalzung der Böden.

Kaliummangel kommt in Waldböden nur in Gebieten mit hohen Niederschlägen vor, beim Anbau von kohlehydratreichen Ackerfrüchten (YAMS, Cassava) und bei der viel Kalium benötigenden Ölpalme (FORDE et al, 1966). Savannenböden weisen im allgemeinen höhere Kaliumgehalte auf als Waldböden. Schwefelmangel kommt auf Wald- und Savannenböden lokal insbesondere bei gewissen Kulturen vor, zum Beispiel bei Tee (STOREY und LEACH, 1933) und bei Erdnüssen (GREENWOOD, 1954).

Über die Zusammenhänge zwischen der Schwefel- und Phosphatdüngung bei Erdnüssen in Nigeria und Ghana wurde in der Diplomarbeit des Verfassers (OBIGBESAN, 1967) ausführlich berichtet. Im Gegensatz zum industrialisierten Westeuropa fehlt dem tropischen Gebiet die beachtliche Schwefelzufuhr aus der Atmosphäre. Für die Böden in der Nähe Nairobis ermittelte HESSE (1958) in der vulkanischen Gegend lediglich eine Schwefelzufuhr von etwa 1kg/haS/Jahr; für Gießen, Westdeutschland, beträgt diese Zufuhr etwa 70-80 kg/ha/Jahr SO_2 durch Niederschläge (Kühn, persönliche Mitteilungen).

Über den Nährstoff Phosphor, den Kern dieser Arbeit, soll schließlich gesagt werden, daß in humiden Gebieten, insbesondere bei Savannenböden, Phosphatmangel weit verbreitet ist und den praktisch wichtigsten Nährstoffmangel darstellt. Waldböden erhalten selbst auf armen Ausgangsgesteinen und bei hohen Niederschlägen genügend Phosphat für die natürliche Vegetation, (NYE, und STEPHENS, 1962). Wegen der stärkeren P-Akkumulation in der oberen Bodenlage sind Waldböden reicher an Phosphat als Savannenböden. Die beispielsweise in Nigeria beob-

achtete Wirkung des Stallmistes ist in erster Linie ein P-Effekt (HARTLEY und GREENWOOD, 1933; HARTLEY, 1937; CROWTHER, 1949). Die beachtliche Wechselwirkung zwischen Stickstoff und Phosphat auf Wald- und Savannenböden war HARTLEY bekannt (1938), und er konnte während seiner Stallmistdüngungsversuche bei Getreide (Sorghum) nachweisen, daß eine Phosphorsäuredüngung die mikrobielle N-Bindung erhöhte und umgekehrt eine N-Düngung die P-Wirkung begünstigte. Kalium hatte keine nennenswerte Wirkung.

In den ariden Tropen tritt der P-Mangel meist erst dann auf, wenn höhere Erträge angestrebt werden. Über das hohe P-Fixierungsvermögen vieler tropischer Böden wird mehrfach berichtet. Die Bedeutung der P-Fixierung in stark verwitterten Böden der humiden Tropen wurde nach UNAMBA-OPARA (1968) wahrscheinlich aber häufig überschätzt und die hohe P-Sorption zu ungünstig beurteilt. MURPHI (1939) untersuchte das Festlegungsvermögen verschiedener im Boden vorhandener Tonminerale und kam zu dem Ergebnis, daß Kaolinit am stärksten festlegend wirkte. Es ist allgemein bekannt, daß die Festlegung der Phosphorsäure in sauren Böden hauptsächlich durch die Fe^{3+} - und Al^{3+} - auf kalkreichen Böden durch Ca^{++} -Ionen bewirkt wird.

b) ZIEL DER ARBEIT UND FRAGESTELLUNG

Die stark sauren Eigenschaften der Latosole des tropischen sowie Äquatorial-Afrikas, das Vorherrschen der kaolinitischen Tonminerale sowie der hohe Fe- und Al-Gehalt der Kulturböden (Roterde, Laterit) deuten auf günstige Voraussetzungen für die Phosphatfestlegung in den humiden Tropen hin. Diese Eigenschaften machen sich bei der Anwendung von Phosphatdüngemitteln bemerkbar. Die Erkenntnis setzt sich immer mehr durch, daß der Handelsdüngeranwendung in den Tropen die größte Bedeutung zukommt. In Anbetracht der bisher mangelhaften Erfahrung, welche Düngemittel für die

P-Versorgung dieser tropischen Böden am geeignetsten sind und in Anbetracht der Tatsache, daß diese Böden nicht einfach nach europäischen und augenblicklich üblichen Richtlinien beurteilt werden können, ist es unerläßlich, den Nährstoffgehalt dieser Böden einigermaßen zu kennen und geeignete Methoden zur Ermittlung ihrer Nährstoffversorgung in Erfahrung zu bringen, damit die meist teuren und mit hohen Transport- und Lagerkosten belasteten Dünger am zweckmäßigsten eingesetzt werden.

Dieses Problem gab Anlaß zu der vorliegenden Arbeit, in deren Verlauf Düngungsversuche und Umsetzungsversuche mit verschiedenen Phosphatdüngemitteln auf einer Reihe west- und mittelafrikanischer Böden durchgeführt wurden; die Wirksamkeit und Verfügbarkeit dieser verschiedenen Düngerphosphate wurde außer mit einer pflanzenphysiologischen Methode ferner mit einigen chemischen Methoden geprüft, um anhand von Korrelationsberechnungen diejenige chemische Untersuchungsmethode herauszufinden, die dem Ergebnis der pflanzenphysiologischen am nächsten kommt.

Zur Verfügung standen 25 Ackerböden (0-15cm Tiefe) aus Westafrika (Nigeria, Ghana, Liberia) und Zentral- und Ostafrika (Äthiopien, Malawi, Kongo) sowie zwei Böden aus der BRD. Diese Versuchsböden, die sich nach Herkunft, Textur, pH und Humusgehalt unterscheiden, wurden zuerst verschiedenen physikalischen, chemischen und radiochemischen Untersuchungsmethoden unterworfen.

II VERSUCHSBÖDEN, HERKUNFT UND EIGENSCHAFTEN

a) BÖDEN AUS NIGERIA

Über die physikalischen Kennwerte der zur Verfügung stehenden Böden gibt die Tabelle 2 Auskunft: Die Bodenproben 1-5 aus Westnigeria entstammen Sedimentärformationen der Coastal Plain Sand (1-3, Ipokia) sowie der Sandsteinformation (4-5, Aiyetoro). Es handelt sich bei den Böden 2-5 um kaliarme Böden (nach Dr. C.T.ODU, persönliche Mitteilungen) aus der Kontrollparzelle von Düngungsversuchen, während Probe 1 aus einem Bauernfeld entnommen wurde ($\emptyset$ 1300 mm, 25°C). Sämtliche Bodenproben 1-5 kommen aus dem Waldsavannegebiet. Die Probe 6 stammt aus Nordnigeria (Station Vom, $\emptyset$ 1500mm, 30°C) auf altem Granit bzw. neuem Basalt im Savannegebiet.

Die Böden aus Ostnigeria dagegen (9 und 11, Abak und Mbawsi) sowie aus Mittel- und Westnigeria (10,12, Benin und Umuabi) wurden dem Coastal Plain Sand entnommen. Es sind tiefgründige saure und sandige Latosole der Benin Fasc und Calabar Fasc (VINE, 1956, 1959) im Regenwaldgebiet ($\emptyset$ 2000-3000mm, 25°C).

Die zum Vergleich einbezogenen deutschen Böden Nr. 7 und 8 stammen aus Löhlbach bzw. Klein-Linden bei Gießen. Der Boden Nr. 7 ist ein umgelagerter Paläoboden aus Tonschiefer bzw. Grauwacken mit einem gewissen Lößlehmanteil, der Boden Nr. 8 ist ein Lahnterrassenboden.

Zu Anfang der Untersuchung standen nur die Bodenproben Nr. 1-6 zur Verfügung. Zum Vergleich wurden zwei deutsche Böden (Nr. 7 und 8) einbezogen. Zu einem späteren Zeitpunkt standen dann die übrigen 19 Versuchsböden zur Verfügung. So ist es zu erklären, daß die beiden deutschen Böden unter Probe Nr. 7 und 8 eingeordnet wurden.

An dieser Stelle möchte ich mich für die freundliche Hilfe bei der Beschaffung bzw. bei der Bereitstellung der Versuchsböden bedanken:



KARTE 1 : Herkunft und Standort der westafrikanischen Böden

Für die Bodenproben 1-5 bei Professor V.A.OYENUGA und Dr. C.T.ODU, Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, University of Ibadan, Nigeria; für Probe 6 bin ich meinem Freund S.RIKI sehr dankbar; für die Proben 9-12 beim Nigerian Institute for Oil Palm Research, Benin; für vier äthiopische Böden bei Herrn Professor ATANASIU, Tropeninstitut, Gießen und für die restlichen Böden bei Herrn Dr. WERNER in der Landwirtschaftlichen Abteilung der Firma Kali-Chemie, AG, Hannover.

Zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung wurde die Schlämmanalyse (Pipettmethode) nach KÖHN (1928) herangezogen, wobei 0,4 n- Natriumpyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) als Dispergierungsmittel verwendet wurde. Die Bodenreaktion (Probe Nr. 1-6; 9-12), gemessen in destilliertem Wasser sowie in 1 n KCL-Lösung im Verhältnis 1:2,5 (Boden zu Flüssigkeit) ist stark sauer bis schwach sauer mit entsprechend unterschiedlichen Werten für die Austauschazidität und hydrolytische Azidität (KAPPEN, 1929). Die Werte der maximalen Wasserkapazität, bestimmt nach MITSCHERLICH (1927), deuten auf den sandigen Charakter dieser Böden hin.

Der C-Gehalt ist niedrig und liegt bei allen Böden um 1%. Die Bestimmung des C-Gehaltes erfolgte nach der Lichterfeldermethode durch nasse Veraschung von 2 g lufttrockenem Feinboden ($\phi < 0,5 \text{mm}$) mit schwefelsaurem $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ und Erfassung der entstehenden Cr^{3+} -Ionen kolorimetrisch nach RIEHM-ULRICH (1954).

Die sämtlichen nigerianischen Böden sind im Gehalt an Gesamtphosphor niedrig, lediglich der Boden Nr. 6 zeichnet sich durch einen höheren Gesamt-P-Gehalt aus, ohne daß die entsprechenden Werte an pflanzenverfügbarer Phosphorsäure dieses erkennen ließen.

Zur Bestimmung der Gesamtphosphorsäure wurden die Böden mit Salpetersäure und Perchlorsäure aufgeschlossen und das Phosphat kolorimetrisch gemessen, unter Verwendung der Vanadat-Molybdat-Methode (WENZEL, 1956). Um die P-Sorption zu ermitteln, wurde 1 g des Bodens mit 50ml

PHYSIKALISCHE KENNWERTE DER 27 VERSUCHSBÖDEN

Probe Nr	Herkunft	Boden- art *	Grob- sand 0.2-2.0 mm	Fein- sand 0.02-0.2 %	Schluff 0.002-0.02 %	Ton <0.002 %	Abschläm- teile (Ton und Schluff) %	% Max. Wasser- kapazit. Vorlage 100ppmP	P-Sorp- tion % Vorlage 100ppmP
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Nigeria Jpokia	IS	77.6	9.3	2.8	8.1	10.9	33.5	24
2	Nigeria Jpokia	IS	85.4	3.6	2.4	7.2	9.6	31.8	28
3	Nigeria Jpokia	IS	77.5	6.1	4.3	9.4	13.7	32.8	32
4	Nigeria Ayetoro	SL	41.2	34.3	5.7	17.0	22.7	36.5	37
5	Nigeria Aiyetoro	SL	41.7	34.5	4.8	17.4	22.2	36.0	36
6	Nigeria Vom	LT	9.8	10.1	22.1	55.0	77.1	43.5	95
7	BRD Löhlbach	L	18.5	32.8	26.9	22.0	48.9	35.5	100
8	BRD Kl.-Linden	SL	16.7	58.9	13.7	10.7	24.4	33.5	45
9	Nigeria Abak	S	62.7	17.0	4.1	14.4	18.5	32.0	45
10	Nigeria Benin	S	75.0	4.8	8.6	9.3	17.9	36.6	15
11	Nigeria Mbawsi	S	68.8	13.8	2.2	13.2	15.4	39.2	39
12	Nigeria Umuabi	S	70.5	16.0	3.1	9.1	12.2	34.8	37
13	Ghana I	SL	20.4	36.0	20.7	19.8	40.5	42.1	33
14	Ghana II	SL	45.8	14.6	21.2	15.3	37.5	37.4	35
15	Ghana III	uL	25.3	21.2	24.5	24.8	49.3	43.7	31
16	Liberia	SL	55.8	15.4	10.9	15.4	26.3	32.6	69
17	Äthiopien I	uL	7.1	5.5	52.7	31.0	83.7	65.0	71
18	Äthiopien II	tL	23.9	5.5	27.8	39.0	66.8	49.1	92
19	Äthiopien III	tL	26.7	6.0	27.0	35.1	62.1	66.6	29
20	Äthiopien IV	uT	3.5	4.2	32.3	58.1	90.4	72.2	(-8)
21	Äthiopien V	uL	9.0	19.2	58.1	17.9	76.0	47.0	56
22	Äthiopien VI	schT	0.6	2.2	49.6	47.6	97.2	78.2	(-17)
23	Malawi I	IS	70.7	10.1	8.2	10.0	18.2	24.7	23
24	Malawi II	L	41.4	16.8	11.6	26.4	38.0	36.1	40
25	Malawi III	L	45.6	9.3	14.5	27.5	42.0	34.3	37
26	Kongo	SL	52.7	19.3	7.3	20.0	27.3	31.9	47
27	Tansania	tL	39.1	0.7	16.5	40.9	57.4	43.3	60

* Bezeichnung nach Bodenartendiagramm d. Geol. Ämter
der BRD, Hannover 1965.

TABELLE 2

einer 100 γ P enthaltenden KH_2PO_4 -Lösung ($\text{pH} 3,25$) vier Stunden geschüttelt, nachdem Voruntersuchungen an drei Böden ergeben hatten, daß sich nach dieser Zeit annähernd ein Gleichgewicht einstellt. Die in der Lösung verbleibende P-Menge wurde kolorimetrisch bestimmt. Aus der Differenz zum P-Angebot ergibt sich die vom Boden sorbierte P-Menge. Die P-Sorption zeigt eine gewisse Parallelität mit der Bodenart; da es sich um leichtere Böden handelt, ist die P-Sorption verhältnismäßig niedrig. Nur der lehmige Tonboden Nr. 6 macht mit 95% P-Sorption eine Ausnahme. Die Bestimmung des organisch gebundenen P (P org.) wurde durchgeführt nach SAUNDERS und WILLIAMS (1955); je 1g ungeglühter und eine Stunde bei 550°C ge- glühter Boden wurde 2 Stunden mit 50ml 0,2 n H_2SO_4 geschüttelt mit Berechnung des organisch gebundenen P aus der Differenz.

Wie Tabelle 3 (Seite 20) zeigt, ist der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Gesamtphosphorgehalt dieser Böden beträchtlich, und er schwankt zwischen 17,5 und 66%; die Hälfte der zehn nigerianischen Böden enthält mehr als 50% P-org. am Gesamt-P. Dieser hohe Anteil von P-org. dürfte eine wichtige Rolle bei der P-Versorgung der Kulturpflanzen, besonders bei gerodeten Waldböden, spielen.

Die Kationenaustauschkapazität (T-Wert) schwankt zwischen 1,0 und 35 mval/100g Boden. Die gefundenen Werte sind nicht unbedingt mit den Schlämmanalysen bzw. dem Tongehalt der Böden in Einklang zu bringen. Die Doppel-Laktatwerte (Tabelle 4, Seite 21) der nigerianischen Böden zeigen, daß es sich insgesamt um Böden mit niedrigem Gehalt an "pflanzenverfügbarem" Phosphat handelt. Die Extraktionswerte der NH_4F - und NaHCO_3 -Methode zeigen zum Teil deutliche Abweichungen von der DL-Methode. Die extrem niedrigen Kalium-Werte (1,2-4,6mg $\text{K}_2\text{O}/100\text{g}$) der DL-Extraktion spiegeln die Tatsache wider, daß die Böden aus Kaliummangelstandorten entnommen wurde.

Zur Überprüfung der Ergebnisse der chemischen Unter-

CHEMISCHE ANALYSENDATEN DER 27 VERSUCHSBÖDEN

Probe Nr.	Herkunft	p H		Aziditätsbest.		AK mval/ 100g	% C	Ges. P mg P ₂ O ₅ / 100 g	Org. P in % Ges. P	C/ Org. P	
		H ₂ O	nKCl	ml % Na OH							
				y _i (A)	y _i (H)						
1	Nigeria	6.3	6.0	0.9	3.8	2.75	1.1	123	81.0	65.8	14
2	Nigeria	5.9	5.3	0.3	4.8	3.35	0.8	123	79.8	64.9	10
3	Nigeria	5.9	5.2	0.3	5.9	3.65	1.0	126	80.0	63.4	13
4	Nigeria	5.6	4.5	0.5	11.3	5.15	1.0	125	65.6	52.5	15
5	Nigeria	5.6	4.5	0.6	11.4	5.25	0.9	157	78.2	49.8	18
6	Nigeria	5.6	4.6	1.0	14.5	35.0	1.2	313	57.6	18.4	21
7	BRD	4.1	4.0	10.0	33.2	22.5	3.1	327	107.5	32.9	29
8	BRD	8.1	7.0	0.1	1.8	8.75	0.4	180	28.3	15.7	14
9	Nigeria	4.7	3.8	4.2	17.0	6.50	1.1	130	36.7	28.2	30
10	Nigeria	6.0	5.3	0.2	6.8	7.00	1.3	137	54.2	39.6	24
11	Nigeria	5.7	4.6	2.0	15.6	5.75	1.1	127	30.8	24.3	36
12	Nigeria	5.2	4.1	1.7	9.0	4.00	0.8	110	19.2	17.5	42
13	Ghana I	5.9	5.2	0.2	8.6	28.75	1.8	130	47.5	36.5	38
14	Ghana II	6.4	5.5	0.1	7.5	15.75	1.9	157	54.9	35.0	35
15	Ghana III	6.9	6.2	0.2	6.1	19.25	2.5	177	73.2	41.4	34
16	Liberia	5.1	4.1	-	-	8.50	1.5	123	27.0	21.9	56
17	Äthiop. I	5.9	5.1	0.5	19.6	45.47	3.7	563	103	18.3	36
18	Äthiop. II	5.9	5.0	0.3	13.3	18.23	2.2	203	78	20.3	28
19	Äthiop. III	5.5	4.8	0.3	17.4	33.75	3.0	233	92	39.5	33
20	Äthiop. IV	6.9	5.6	0.05	4.5	58.15	1.1	110	32	29.1	34
21	Äthiop. V	5.4	4.5	0.6	28.7	32.15	3.4	163	123	75.5	28
22	Äthiop. VI	6.4	5.3	0.1	7.3	48.79	2.1	327	72	22.0	29
23	Malawi I	6.3	5.2	-	-	4.25	0.6	150	48	32.0	13
24	Malawi II	6.4	5.4	-	-	17.25	2.2	163	65	39.9	34
25	Malawi III	6.6	5.6	-	-	13.75	1.8	348	70	20.1	26
26	Kongo	5.7	4.5	-	-	10.00	1.0	153	40	26.1	25
27	Tansania	6.1	5.2	0.6	8.4	11.75	1.6	210	83	39.5	19

TABELLE 3

PFLANZENVERFÜGBARE "BODENPHOSPHORSÄURE, BESTIMMT NACH
VERSCHIEDENEN METHODEN:

Probe Nr.	Herkunft	mg P ₂ O ₅ / 100 g Boden							D-Laktat
		Salat - Methode Ehrendorfer	H ₂ O löslich 1:50 1:20	D. Laktat Egner-Riehm	NH ₄ F-HCL Bray 1	NH ₄ HCO ₃ Olsen	mg K ₂ O/100gB		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Nigeria	154	0.06	0.9	0.68	1.0	4.0	2.7	1.6
2	Nigeria	-	-	1.0	0.70	1.1	4.0	3.2	1.2
3	Nigeria	-	-	1.0	0.62	0.9	4.5	2.2	1.6
4	Nigeria	-	-	0.9	0.46	0.8	4.5	3.0	1.2
5	Nigeria	1.65	0.17	1.0	0.57	1.2	5.6	3.0	4.6
6	Nigeria	1.43	0.05	1.2	0.24	0.7	1.9	8.4	3.6
7	BRD	1.33	0.15	1.1	0.27	1.4	5.5	10.3	2.2
8	BRD	1.59	0.11	1.5	0.68	3.8	6.1	9.8	1.8
9	Nigeria	1.46	0.02	1.1	0.71	2.2	6.4	10.0	1.5
10	Nigeria	2.50	1.02	3.0	1.59	2.6	6.9	8.2	2.2
11	Nigeria	1.63	0.15	1.1	0.75	1.7	6.1	8.1	3.2
12	Nigeria	1.53	0.05	1.0	0.73	1.4	5.5	8.1	2.0
13	Ghana I	1.43	0.05	1.0	0.58	1.7	4.0	7.7	11.0
14	Ghana II	1.63	0.15	0.9	0.44	1.2	3.2	7.4	3.0
15	Ghana III	2.26	0.78	1.5	0.59	6.2	6.4	8.2	20.0
16	Liberia	1.23	0.25	0.8	0.41	1.1	3.4	7.7	6.0
17	Äthiopien I	2.89	1.41	1.7	1.33	9.7	10.4	23.9	41.0
18	Äthiopien II	1.47	0.01	0.9	0.20	0.6	1.9	7.5	36.0
19	Äthiopien III	1.69	0.21	0.5	0.16	0.7	2.9	1.8	7.0
20	Äthiopien IV	1.60	0.12	0.8	0.41	2.0	3.9	2.0	22.0
21	Äthiopien V	1.50	0.02	0.5	0.14	0.5	1.3	1.8	17.0
22	Äthiopien VI	2.51	1.03	2.7	1.04	18.9	16.0	7.3	14.0
23	Malawi I	-	-	3.6	1.73	4.4	18.7	10.3	8.0
24	Malawi II	-	-	1.4	0.45	0.9	4.2	6.7	22.5
25	Malawi III	-	-	3.8	1.65	8.9	20.0	11.4	24.0
26	Kongo	1.57	0.09	1.2	0.42	4.1	8.9	10.8	7.5
27	Tansania	1.35	0.13	1.2	0.20	1.7	6.1	7.5	25.0

TABELLE 4

suchungen wurde eine pflanzenphysiologische Methode, die Salatmethode nach EHRENDORFER (1957), worüber noch im einzelnen gesprochen wird, herangezogen. Die in Tabelle 4, Spalte IV aufgestellten Werte geben die Menge Phosphat an, die von 75 Salatpflanzen (Spalte IV: die Menge nach Abzug des Blindwertes) aus 100g Boden aufgenommen wurden.

Die Wasserextraktionsmethode in den Spalten IV/V bei zwei Verhältnissen von Wasser:Boden (1:50 bzw. 1:20) läßt eine gewisse Übereinstimmung dieser Extraktionswerte mit der P-Aufnahme durch die Salatpflanze erkennen. Ähnliches ist auch bei den DL-Werten zu verzeichnen. Wegen nicht ausreichender Bodenmenge konnte die Salatmethode bei den Proben 2-4 nicht ausgeführt werden.

Aufgrund der vorliegenden Analysenergebnisse dürften diese Latosole aus Nigeria, - niedriger Gehalt an ab-schlämbbaren Teilen, niedriger Gehalt an Gesamt- und pflanzenverfügbarem Phosphat, extrem niedrige Kaliumwerte, wenig organische Substanz und geringe Basensättigung -, als saure, sandige und nährstoffarme Böden charakterisiert werden. Eine Ausnahme macht hinsichtlich der P-Versorgung die Probe 10, für die die Salatmethode, aber auch die Extraktion mit Wasser, die höchsten Werte an pflanzenverfügbarem Phosphat aufweisen.

b) BÖDEN AUS DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Die beiden deutschen Böden unterschiedlicher Herkunft und von unterschiedlichem Standort, Probe Nr. 7, stark sauer, bindiger Lehm Boden und Probe Nr. 8, neutrale Bodenreaktion, sandiger Lehm, weisen deutlich entgegengesetzte Eigenschaften bei allen untersuchten Kriterien auf: extrem hohe P-Sorption (bis zu 100% bei Vorlage von 100 ppm P) gegenüber 45% bei Probe 8, 22% Tongehalt gegenüber 10,7% bei der Probe 8; zwar ergibt sich ein hoher Wert für Gesamt-P (327mg gegenüber 180mg P_{2O_5}), aber ein niedriger für pflanzenaufnehmbaren Phosphor. Die Testpflanze verzeichnete eine Rückwanderung

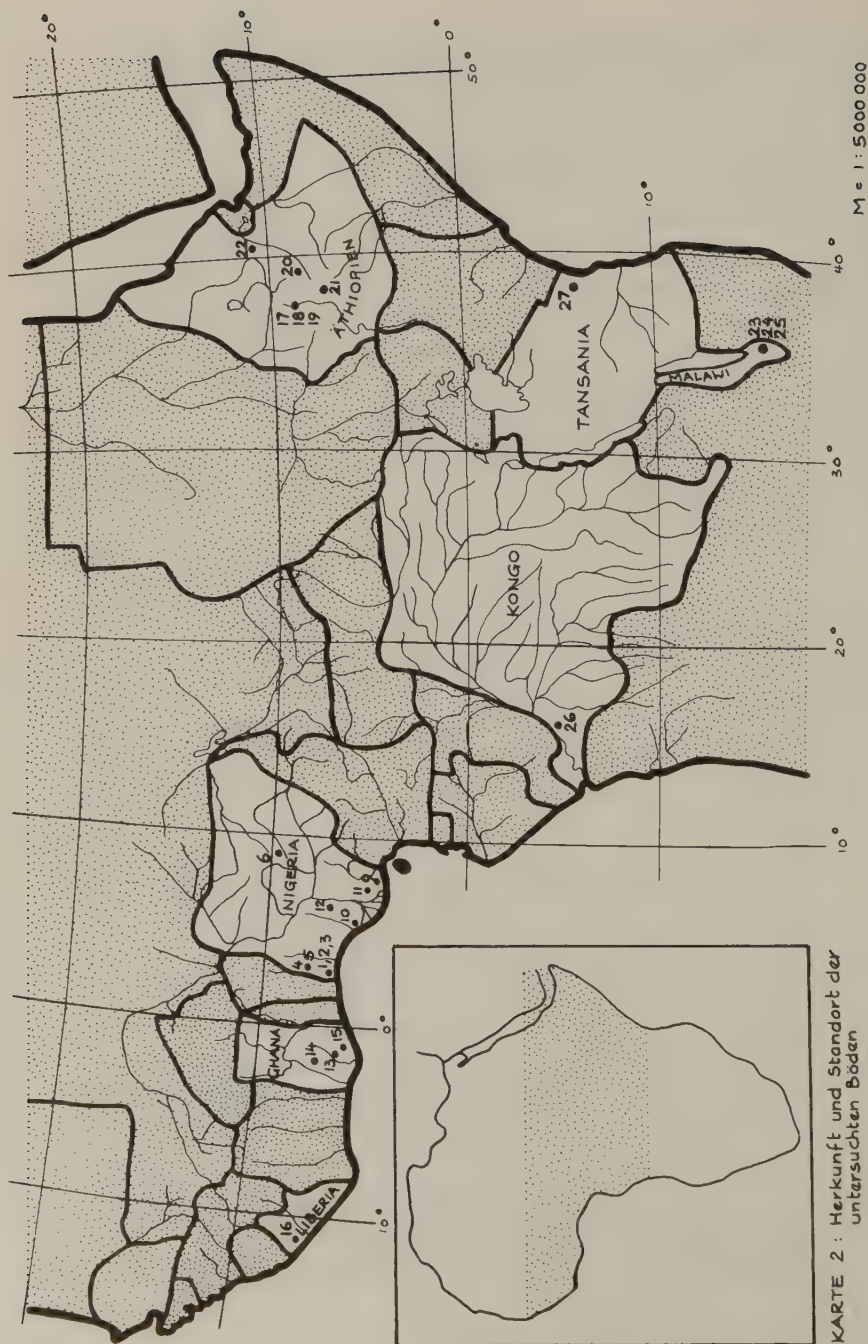
der Samen-P im Boden Nr. 7 [negative P-Aufnahme ($-0,15 \text{ mgP}_2\text{O}_5$)], während eine absolute Mehraufnahme von $0,11 \text{ mg}$ bei der Probe Nr. 8 zu verzeichnen war.

c) DIE BÖDEN AUS GHANA UND LIBERIA

Die Kennzeichnung der Böden 13-15 aus Ghana erfolgte nach Angaben der Firma Kali Chemie AG, Hannover, (persönliche Mitteilungen) laut Auskunft der University of Ghana, Faculty of Agriculture, Legon. Es sind dies Böden der Savannengebiet der Accra Plains. Sie bestehen aus Vertisolen und aus sehr sandigen Böden, die über saurem Gneis entstanden sind. Die Proben Nr. 13 und 15 kommen aus der Agricultural Research Station, Kade (Forest oxysols). Beide Böden enthalten Eisenkonkretionen, entstanden aus Phyllit. Sie werden seit vier Jahren kultiviert und mit Cocoyam und Plantain bzw. Mais bebaut. Sie erhielten bisher keine Düngung. Probe Nr. 14 stammt aus der Central Agricultural Station, Kumasi (Forest Ochrosols). Die Probe zeigt ebenfalls Eisenkonkretionen, entstanden aus Phyllit. Der Boden wird seit einigen Jahren durch Anbau von Futterpflanzen und besonders von Cassava kultiviert. Auch dieser Boden war bisher ohne Düngung.

Diese drei sandigen bis schluffigen Lehmböden (Probe Nr. 13, 14 und 15) aus Ghana, schwach sauer bis neutral, besitzen eine verhältnismäßig geringe P-Sorption, etwa 33%. Ähnlich wie bei den nigerianischen Böden liegt der Gehalt an Gesamt-P niedrig ($130-177 \text{ mg P}_2\text{O}_5$), der Anteil des organischen P am Gesamt-P beträgt bis zu 41%. Die Werte für das laktatlösliche K_2O liegen sehr hoch (Probe 14 ausgenommen) und sind als günstig zu beurteilen. Die "pflanzenverfügbare" Phosphorsäure, bestimmt nach verschiedenen Methoden, ist auch hier niedrig; die Probe Nr. 15 kann nach der DL-Bewertung als mäßig versorgt bezeichnet werden.

Der einzige Boden aus Liberia stammt von der Universitätsfarm des College of Agriculture and Forestry, Monrovia, und er vermittelt eine allgemeine Vorstellung



KARTE 2 : Herkunft und Standort der untersuchten Böden

von den Latosolen aus den Küstengebieten Liberias. Dieser Boden (Probe Nr. 16) ist ein stark saurer, stark P-sorbierender (69%), sandiger Lehm Boden. Er hat bei niedrigem Gesamt-P ebenfalls einen geringen Anteil an organischem P.

Mit Ausnahme des Gesamt-P-Gehaltes und des DL-K₂O-Wertes ist dieser Boden in vielen Gesichtspunkten dem deutschen Boden (Probe Nr. 7 aus Löhlbach) sehr ähnlich. So verzeichnen die Testpflanzenwerte der beiden Böden eine Rückwanderung der Samenphosphorsäure in den Boden, (Liberia 1,23; -0,25/Löhlbach 1,33; -0,15).

d) DIE BÖDEN AUS ÄTHIOPIEN

Die Herkunft und die Eigenschaften der Bodenproben Nr. 17-22 aus Äthiopien seien, nach Angaben von Herrn Professor ATANASIU, kurz und stichwortartig skizziert.

Die Proben Nr. 17, 18 und 19 stammen aus der Provinz Bako, 200 km westlich von Addis Abeba. Entnahmetiefe 0-20 cm. 1200-1500 mm Niederschlag bei Ø 20°C.

Probe 17: ein der Schwarzerde ähnlicher Boden (Grumusol) (Black Cotton Soil-Typ); starke Quellung.

Probe 18: typischer Latosol.

Probe 19: schwarzer Boden, Anbau von Teff.

Probe 20: schwerer Tonboden von steinharter Beschaffenheit, wenn trocken; sehr dunkle Farbe.

Bodentyp: Grumusol vom Standort Debre Zeit in der Provinz Shoa, 50 km südlich von Addis Abeba.

Probe 21: Latosol aus Dedo in der Kaffa-Provinz, 400 km südwestlich von Addis Abeba.

Probe 22: schwarzerdeähnlicher Boden, schwerer Ton, ähnlich Probe 20; steinhart, wenn trocken.

Bodentyp: Grumusol aus Combolcha (Provinz Wollo) etwa 400 km nördlich von Addis Abeba.

Diese Böden aus Äthiopien, bindige, schluffige Lehm- bis schluffig Tonböden, sauer bis schwach sauer, sind im Ver-

gleich mit den nigerianischen Böden als reich an laktatlöslichem Kalium ($7-41 \text{ mg K}_2\text{O}$) zu bezeichnen, besitzen aber meistens niedrige DL-Werte für P_2O_5 . Eine Ausnahme machen die Proben 17 und 22 mit 9,7 bzw. 18,9 mg P_2O_5 . Bei diesen beiden Böden liegen auch die anderen Extraktionswerte ($\text{H}_2\text{O}, \text{NH}_4\text{F}, \text{NaHCO}_3$) sowie die Testpflanzenwerte am höchsten. Der Gehalt an Gesamt-P schwankt zwischen 110 und 563 mg P_2O_5 und liegt bei den beiden Proben Nr. 17 und 22 am höchsten. Der Anteil des organischen P am Gesamt-P ist nur in einem Fall (76%) beträchtlich, sonst liegt er meistens niedrig.

Die P-Sorption ist nicht einheitlich. Neben extrem hohen P-Sorptionswerten (56-92%), einerseits treten auch negative Sorptionswerte auf (-6 und -17 %), d.h., daß diese Böden (Probe Nr. 20 und 22) mit negativer P-Sorption der Phosphatschüttellösung keinen Phosphor entziehen, sondern ihr noch Phosphorsäure aus eigenem P-Vorrat zuliefern, was ein Beweis für den beachtlichen P-Versorgungszustand dieser beiden Böden ist. Die stark P-sorbierenden Proben gehören der Gruppe der Latosole an, während es sich bei den Böden mit negativer Sorption um schwarzerdeähnliche tropische Grumusole (Black-Cotton-Soil-Typ) handelt.

Der Gehalt an organischer Substanz der untersuchten äthiopischen Böden (1,1 - 3,7%) liegt vergleichsweise höher als bei den westafrikanischen Böden aus Nigeria und Ghana (0,8-1,3%). Sämtliche äthiopischen Böden hatten im Jahr der Probeentnahme keine Düngung erhalten. Die Böden 17 - 19 stammen aus Versuchspartzellen, während die Proben 20-22 landwirtschaftlich genutzten Böden entnommen wurden. Bei diesen letzten drei Böden kann mit Sicherheit angenommen werden, daß sie noch nie eine mineralische Düngung bekommen haben.

e) DIE BÖDEN AUS MALAWI

Bei den Proben Nr. 23-25 aus der Chitedze Agricultural Research Station, Malawi, handelt es sich um Böden, auf denen in der dortigen Versuchsstation Gefäßversuche über die Phosphatversorgung von Tabak und Mais durchgeführt werden.

Diese schwach sauren bis sauren, lockeren Lehm Böden weisen nur mäßige P-Sorption auf. Bei einem Gehalt an Gesamt-Phosphor von 150-348mg/100g Boden beträgt der anorganische P-Anteil nur 20-40%. Diese mit Kalium gut versorgten Böden enthalten relativ hohe Mengen an pflanzenverfügbarem Phosphat, ermittelt nach verschiedenen chemischen Methoden. Auffallend ist der hohe Wert für wasserlösliches Phosphat, der höchste von allen 27 untersuchten Böden, (3,6-3,8mg P_2O_5 bei 1:50 im Extraktionsverhältnis und 1,65-1,73mg P_2O_5 im Extraktionsverhältnis von 1:20).

Da bei diesen Böden aus Malawi die zur Verfügung stehende Bodenmenge sehr begrenzt war, konnte das pflanzenverfügbare Phosphat in den ungedüngten Böden mittels der Salatmethode nicht bestimmt werden.

f) DIE BÖDEN AUS TANSANIA UND AUS DEM KONGO

Die Bodenprobe Nr. 27 aus der Sisalversuchsanstalt Mlingano, Tansania, ist charakteristisch für den Großteil der Sisalplantagen in der Tanga-Provinz. Er entstammt einem ebenen Gelände und hat keine Düngung erhalten. Die Tonfraktion besteht aus Kaolinit mit einem hohen Prozentsatz an Fe-Oxid. Dem Bodentyp nach ist er ein Latosol. Die Probe 26 von den Unilever-Plantagen, Kinshasa, Kongo, entstammt der Pflanzung Flandria. Diese beiden Proben aus dem Kongo und Tansania besitzen eine hohe P-Sorption von 47 bzw. 60%, wenig organische Substanz, unterschiedliche Kaliumwerte (DL = 7,5mg und 25,0mg K_2O) ebenso wie voneinander abweichende Werte für pflanzenauf-

nehmbares Phosphat. Der tonige Lehm, schwach saurer Latosol aus Tansania, ergab trotz hohem Gehalt an Gesamt-P eine negative P-Aufnahme durch die Testpflanze ($-0,13\text{mg P}_2\text{O}_5$).

Aus den vorausgegangenen Darstellungen geht hervor, daß es sich bei den untersuchten Böden durchweg um typische Böden tropischer Herkunft handelt, die sich fast durchweg durch eine für europäische Verhältnisse völlig unzureichende P-Versorgung auszeichnen. Auch der Gehalt an organischer Substanz ist, entsprechend der Herkunft und entsprechend dem Bodentyp, niedrig.

III UMSETZUNGSVERSUCHE OHNE PFLANZEN =====

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß das dem Boden zugefügte Düngerphosphat im Boden an Löslichkeit, Beweglichkeit und Pflanzenverfügbarkeit verliert und daß die Wirkung der Dünger-Phosphorsäure dadurch vermindert wird. Dieser für die Düngerpraxis unvermeidbare Verlust tritt auf, weil die Phosphationen ziemlich schnell in schwer lösliche Bindungsformen übergehen. Diese Festlegung, bzw. das Unverfügbarwerden der Phosphorsäure ist in Abhängigkeit von der gedüngten Phosphatform unterschiedlich. Der Hauptzweck der nachstehend beschriebenen Umsetzungsversuche mit den zu Beginn der Untersuchungen zur Verfügung stehenden nigerianischen Bodenproben 1-6 war, zu zeigen, ob im zeitlichen Ablauf der Festlegung verschiedener Phosphatdüngemittel wesentliche Unterschiede auftreten und welche Zusammenhänge zu den Bodeneigenschaften bestehen.

Zur Beurteilung der Festlegung bzw. der Verfügbarkeit der Düngerphosphorsäure wurde die Doppel-Laktatmethode herangezogen, von der unter europäischen Verhältnissen bekannt ist, daß ihre Werte eine gute Korrelation zur pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure liefern.

Des weiteren wurde versucht, durch die Fraktionierung des anorganischen, also insbesondere des Düngerphosphates, einen näheren Einblick in die anorganischen P-Bindungsformen vor und nach der P-Düngung zu gewinnen. Die vorausgegangenen Untersuchungsergebnisse (Abschnitt II) lassen deutlich erkennen, daß die meisten dieser Böden sehr arm an Phosphat sind. Eine wirksame P-Anreicherung dieser Böden ist nur durch die Zufuhr von mineralischem P-Dünger möglich. Die Verwendung von Superphosphat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4$) lag nahe, da es das auf der Erde meistgebrauchte Phosphatdüngemittel ist und besonders in den meisten tropischen Gebieten fast die einzige mineralische Phosphatquelle darstellt. Außerdem wurden Rhenania-Phosphat (etwa $\text{CaNaPO}_4 \cdot \text{CaSiO}_3$) und Thomasphosphat (etwa

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT (DL-WERTE IN $\text{mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g BODEN}$)

Probe Nr.	Düngerphosphat Art I = $6.7 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ II = $15.3 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$	DL- Werte ohne P- Zugabe mg	DL-Werte nach 4 Wochen				DL-Werte nach 7 Wochen				DL-Werte nach 12 Wochen			
			Gesamt- DL- P_2O_5 mg	P_2O_5 aus der Dgg mg	Dgg- P_2O_5 relativ verfügbar %	Relativ	Gesamt- DL- P_2O_5 mg	P_2O_5 aus der Dgg mg	Dgg- P_2O_5 relativ verfügbar %	Relativ	Gesamt- DL- P_2O_5 mg	P_2O_5 aus der Dgg mg	Dgg- P_2O_5 relativ verfügbar %	Relativ
① 6.0	Rhenania I	1.0	4.30	3.3	50.0	100	4.9	3.9	59.0	100	4.95	3.95	59.8	100
	Rh I		10.20	9.2	69.1	100	10.9	9.9	74.4	100	9.00	8.0	60.1	100
	Thomas I		4.60	3.6	54.5	109	5.1	4.1	62.1	105	5.40	4.4	66.6	111
	Th II		10.00	9.0	67.6	97	8.0	7.0	52.6	70	9.50	8.5	63.9	106
	Superphos I		4.30	3.3	50.0	100	5.0	4.0	60.6	102	4.00	3.0	45.4	76
	Super II		8.90	7.9	59.3	85	5.7	4.7	35.3	47	7.40	6.4	48.1	80
② 5.3	Rh I	1.1	5.70	4.6	69.6	100	4.2	3.1	46.9	100	4.4	3.3	50.0	100
	Rh II		9.10	8.0	60.1	100	12.3	11.2	84.2	100	11.8	10.7	80.4	100
	Th I		5.50	4.4	66.6	95	4.2	3.1	46.9	100	6.0	4.9	74.2	148
	Th II		8.70	7.6	57.1	95	10.2	9.1	68.4	81	13.4	12.3	92.4	115
	Super I		4.20	3.1	46.9	67	3.4	2.3	34.8	74	4.0	2.9	43.9	87
	Super II		6.20	5.1	38.3	63	7.3	6.2	46.6	55	7.5	6.4	48.1	60
③ 5.2	Rh I	0.9	3.50	2.6	39.3	100	4.0	3.1	46.9	100	4.1	3.2	48.4	100
	Rh II		8.80	7.9	59.3	100	6.9	6.0	45.1	100	7.4	6.5	48.8	100
	Th I		4.80	3.9	59.0	150	4.9	4.0	60.6	129	5.2	4.3	65.1	134
	Th II		9.30	8.4	63.1	106	8.6	7.7	57.8	128	10.3	9.4	70.6	144
	Super I		3.20	2.3	34.8	88	4.6	3.7	56.0	119	4.0	3.1	46.9	96
	Super II		7.10	6.2	46.6	78	7.4	6.5	48.8	108	6.6	5.7	42.8	87

TABELLE 5

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT (DL-WERTE IN mg P₂O₅ / 100g BODEN

Probe Nr. (pH KCL)	Düngerphosphat Art I : 6.7 mg P ₂ O ₅ /100g II : 12.3 mg P ₂ O ₅ /100g	DL-Werte ohne P-Zugabe mg	DL-Werte nach 4 Wochen				DL-Werte nach 7 Wochen				DL-Werte nach 12 Wochen			
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
④	Rh I	0.8	4.0	3.2	48.4	100	4.2	3.4	51.5	100	4.3	3.5	53.0	100
			9.0	8.2	61.6	100	8.3	7.5	56.3	100	7.8	7.0	52.6	100
4.5	Th I	0.8	3.9	3.1	46.9	96	5.0	4.2	63.6	123	4.4	3.6	54.5	102
	Th II		8.0	7.2	54.1	87	9.2	8.4	63.1	112	8.2	7.4	55.6	105
	Super I		3.0	2.2	33.3	68	4.3	3.5	53.0	102	4.1	3.3	50.0	94
	Super II		5.6	4.8	36.0	58	7.6	6.8	51.1	90	7.0	6.2	46.6	88
⑤	Rh I	1.2	3.0	1.8	27.3	100	4.4	3.2	48.4	100	3.7	2.5	38.7	100
	Rh II		5.1	3.9	29.3	100	7.4	6.2	46.6	100	6.4	5.2	39.0	100
	Th I		3.8	2.6	39.3	143	4.9	3.7	56.0	115	3.9	2.7	40.9	108
	Th II		7.4	6.2	46.6	159	7.6	6.4	48.1	103	6.8	5.6	42.1	107
⑥	Super I	0.7	3.4	2.2	33.3	121	2.7	1.5	22.7	46	4.0	2.8	42.4	112
	Super II		5.7	4.5	33.8	105	4.9	3.7	27.8	59	5.4	4.2	31.6	80
	Rh I		0.9	0.2	3.0	100	0.4	-0.3	-4.6	100	0.4	-0.3	-4.6	100
	Rh II		1.6	0.9	6.7	100	1.2	0.5	3.8	100	0.9	0.2	1.5	100
4.6	Th I	0.7	1.1	0.4	6.1	200	1.4	0.7	10.6	233	1.5	0.8	12.1	266
	Th II		1.1	0.4	3.0	44	1.5	0.8	6.0	160	1.3	0.6	4.5	300
	Super I		0.6	-0.1	-1.5	-50	0.4	-0.3	-4.6	-100	0.8	0.1	1.5	-33
	Super II		1.6	0.9	6.7	100	1.6	0.9	6.7	180	-	-	-	-

TABELLE 6

$\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) in die Untersuchungen einbezogen, um auch deren Eignung auf diesen tropischen Böden zu überprüfen.

Speziell das Rhenaniaphosphat hat auf tropischen Böden oft eine vorzügliche P-Wirkung gezeigt (ZELLER, 1930; DAVIES, 1949; JONES, 1959; FASSBENDER und MÜLLER, 1967; WERNER, 1969). Beim Thomasphosphat war zu erwarten, daß sich die darin in hohem Prozentsatz enthaltenen basischen Bestandteile auf sauren tropischen Böden günstig auswirken würden, also die Verfügbarkeit der Phosphorsäure verbessert werden würde.

METHODIK DER VERSUCHSANSTELLUNG

Bei diesen Umsetzungsversuchen wurden die genannten Düngemittel in nicht granulierter Form in zwei Düngerstufen verabreicht:

6,7mg P_2O_5 /100g Boden entsprechend etwa 200kg/ha P_2O_5 und 13,3mg P_2O_5 /100g Boden entsprechend etwa 400kg/ha P_2O_5 . Die Umsetzungsversuche wurden in Neubauerschalen aus PVC durchgeführt. Hierbei wurden 200g lufttrockener Boden mit der angegebenen Menge P in Form der verschiedenen Düngemittel durchgemischt und die Böden auf 60% der maximalen Wasserkapazität eingestellt. Die Neubauerschalen waren während der Versuchsdauer mit Glasplatten abgedeckt, und jede Woche wurde verdunstetes Wasser nachgegeben. In bestimmten Abständen (Tabelle 7, Seite 32) wurden Proben von etwa 50g genommen und nach der Trocknung untersucht.

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT (DL-WERTE IN mg P₂O₅/100 g BODEN

Probe Nr.	Düngerphosphat Art Düngungs- stufe	DL- Werte ohne p-Zugabe	DL- Werte nach 4 Wochen			DL- Werte nach 7 Wochen			DL- Werte nach 12 Wochen					
			Gesamt- DL- P ₂ O ₅	aus der Dgg- P ₂ O ₅	Relativ	Gesamt- DL- P ₂ O ₅	aus der Dgg- P ₂ O ₅	Relativ	Gesamt- DL- P ₂ O ₅	aus der Dgg- P ₂ O ₅	Relativ			
(pH KCl)	I = 6.7 mg P ₂ O ₅ /100g II = 13.3mg P ₂ O ₅ /100g	mg	mg	%	Dgg- P ₂ O ₅ "verfügbar"	mg	%	Dgg- P ₂ O ₅ "verfügbar"	mg	%	Dgg- P ₂ O ₅ "verfügbar"	mg	%	
⑦	Rh I	1.4	3.7	2.3	34.8	100	3.3	1.9	28.7	100	3.6	2.2	33.3	100
	Rh II		6.6	5.2	39.0	100	5.2	3.8	28.5	100	4.8	3.4	25.5	100
	Th I		3.3	1.9	28.7	95	2.9	1.5	22.7	162	3.6	2.2	33.3	100
	Th II		4.8	3.4	25.5	65	3.7	2.3	17.2	120	4.5	3.1	23.3	91
	Super I		3.8	2.4	36.3	104	2.7	1.3	19.6	100	4.1	2.7	40.9	122
	Super II		4.5	3.1	23.3	59	3.4	2.0	15.0	83	4.4	3.0	22.5	88
⑧	Rh I	3.8	7.9	4.1	62.1	100	6.7	2.9	43.9	68	6.8	3.0	45.4	100
	Rh II		11.9	8.1	60.9	100	9.8	6.0	45.1	10.3	10.3	6.5	48.8	100
	Th I		8.8	5.0	75.7	121	8.5	4.7	71.2	91	9.1	5.3	80.3	176
	Th II		13.8	10.0	75.1	123	11.0	7.2	54.1	13.5	13.5	9.7	72.9	149
	Super I		8.7	4.9	74.2	119	6.7	2.9	43.9	6.4	6.4	2.6	39.3	86
	Super II		9.9	6.1	45.8	75	8.8	5.0	37.5	9.6	9.6	5.8	43.6	89
7.0	Rh I													
	Rh II													
	Th I													
	Th II													
	Super I													
	Super II													

Alle 8 Böden	n. 4 Wo.	7 Wo.	12 Wo.	6 Nigerian. Böden	n. 4 Wo.	7 Wo.	12 Wo.
Σ	Rh < 100	100	100	Σ	Rh < 100	100	100
Σ	Th < 126	130	143	Σ	Th < 132	151	144
Σ	Super < 77	84	81	Σ	Super < 81	89	79

TABELLE 7

A 1 ERGEBNISSE DES ERSTEN UMSETZUNGSVERSUCHES MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT

Die Ergebnisse dieser Umsetzungsversuche sind in den Tabellen 5, 6 und 7 (Seite 29, 30 und 32) zusammengestellt.

Von den während des Umsetzungsversuches gefundenen DL-Werten wurde der DL-Wert des ursprünglichen Bodens abgezogen. Die so gefundene Differenz wurde als den Düngemitteln entstammende DL-lösliche P_2O_5 angesehen und in Prozent der gedüngten P_2O_5 -Menge ausgedrückt.

Die für die einzelnen Düngemittel gefundenen Prozentzahlen wurden miteinander ins Verhältnis gesetzt, indem die Werte für Rhenaniaphosphat gleich Hundert (100) gesetzt wurden.

Betrachtet man die Spalten VI, X und XIV (Tabelle 5, 6 und 7), so sieht man, daß die laktatlösliche Düngersäure (in Prozent) bei den variierten Gaben unterschiedlich hoch ist. Die Spalten VII, XI und XV der genannten Tabellen zeigen deutlich, daß die Thomasphosphatreihe fast immer die höchsten DL-Werte liefert.

Das fällt besonders bei den nigerianischen Proben Nr. 1, 3, 4 und 5 auf. Die Probe Nr. 6 bildet eine Ausnahme. Dieser saure Latosol mit 55 % Ton ergab ungleichmäßige und auch negative DL-Werte sowohl bei der Rhenania- als auch bei den Superphosphatreihen. Bei Thomasphosphat hingegen sind keine negativen Werte zu verzeichnen. Auch bei dem deutschen neutralen und sandigen Lehm Boden Nr. 8 liefert die Thomasphosphatbehandlung die höchsten DL-Werte, demgegenüber zeigt der extrem saure Boden Nr. 7 aus Löhlbach eine Überlegenheit der Rhenaniaphosphatreihe an. Die Beurteilung der ermittelten Werte bei den jeweiligen Böden erfolgt in zweierlei Hinsicht:

- I) Verfügbarkeit bzw. Festlegung der Dünger- P_2O_5 im zeitlichen Ablauf
- II) Vergleich der prozentualen Verfügbarkeit von Dünger- P_2O_5 bei den verschiedenen Düngermitteltypen

Im allgemeinen stellt sich folgendes heraus:

- Zu I a) Die Rhenaniaphosphatreihe zeigt eine mit der Versuchsdauer zunehmende P-Verfügbarkeit bei Probe Nr. 1, 3, 4 und 5 gegenüber einer abnehmenden P-Verfügbarkeit bei der Probe Nr. 6.
- Zu I b) Die Thomasphosphatreihe zeigt bei sämtlichen Böden (außer Probe 7) eine zunehmende Verfügbarkeit an.
- Zu I c) Bei Superphosphat ist mit Ausnahme von Probe Nr. 4 und teilweise Probe Nr. 2 nur eine Abnahme der P-Verfügbarkeit zu verzeichnen.

Die folgende kurze und stichwortartige Analyse soll die wesentlichen Unterschiede verdeutlichen:

Verfügbarkeit von Rhenania-, Thomas- und Superphosphat im zeitlichen Ablauf

	Rhenania-, Thom.-	Super-
Zunahme nur bei niedrigen Gaben		phosphat
Probe Nr.	3, 4	1 -
Zunahme bei niedrigen und hohen Gaben		
Probe Nr.	1, 5	2,3,4,5, 4 6
Zunahme bei hohen Gaben		
Probe Nr.	2	- 2
Abnahme bei niedrigen und hohen Gaben		
Probe Nr.	6	- 1,3,5,6

Das Verhalten der verschiedenen Phosphatdüngemittel wird somit im Laufe der Zeit eindeutig; das Superphosphat wird bei der Mehrzahl der Böden immer weniger verfügbar, das heißt, es wird zunehmend festgelegt.

Zu II Zur Kennzeichnung der geprüften Phosphatdünger dient ein Vergleich der erhaltenen Laktatwerte (ausgedrückt in % der gedüngten P-Menge). Die höchsten

Werte (Spalte VI, X und XIV) ergaben sich bei den Thomasphosphatreihen; unverkennbar sind die niedrigen Werte bei Superphosphat. Bei den Proben Nr. 1-5 ist diese niedrige Ausnutzungsquote bei Superphosphatdüngung eindeutig. Aber auch auf dem sauren Tonboden Nr. 6 wird das Superphosphat ausnahmslos stark festgelegt. Die beiden anderen P-Dünger ergaben hier ebenfalls keine nennenswerte positive Wirkung. Die im zeitlichen Ablauf schwindende doppellaktatlösliche P-Menge und die extrem niedrige Ausnutzung der Düngerphosphorsäure bei diesem Boden spiegeln die unverkennbaren Eigenschaften der sauren tropischen Latosole wieder, (1T,pH 4,6).

Aber auch bei dem neutralen sandigen Lehm Boden Nr. 8 aus Westdeutschland waren die DL-Werte bei Superphosphat am niedrigsten, während die Thomasphosphatreihe die höchsten DL-Werte lieferte.

Im Durchschnitt zeigte bei allen Böden die DL-Methode für das Superphosphat die geringste Verfügbarkeit an, danach folgt das Rhenaniaphosphat und an der Spitze liegt das Thomasphosphat. Im Mittel der Böden Nr. 1-6 aus Nigeria ergibt sich die folgende prozentmäßige Ausnutzung der Düngerphosphorsäure durch die Laktatmethode:

TABELLE 7a: Prozentuale Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 durch die DL-Methode (Nr. 1-6, Seite 29 und 30)

		4 Wochen	7 Wochen	12 Wochen
Rhenania-	1x	40	42	41
	2x	47	52	47
Thomas-	1x	46	51	52
	2x	49	49	55
Superphosphat	1x	42	37	38
	2x	42	35	36

Setzt man in dieser Tabelle 7a die für Rhenaniaphosphat gefundenen Werte gleich Hundert (100), so ergeben sich

nachstehende relative Werte für die prozentuale Erfassung der Düngerphosphorsäure durch die DL-Methode.

TABELLE 7 b : Relative Erfassung der Dünger-P₂O₅ durch die DL-Methode

Probe Nr. 1-6, nigerian. Böden (s.Seite 29,30)		4 Wochen	7 Wochen	12 Wochen
Rhenania-	1x	100	100	100
	2x	100	100	100
Thomas-	1x	132	151	144
	2x	98	109	146
Superphosphat	1x	65	57	72
	2x	81	89	79
alle Proben Nr. 1-8:				
Rhenania-	1x	100	100	100
	2x	100	100	100
Thomas-	1x	126	130	143
		97	104	139
Superphosphat	1x	77	76	80
	2x	77	84	81

Das Verhalten sämtlicher P-Dünger ist bei Probe Nr. 7 aus Löhlbach (tL, pH_{4,0}) im Laufe der Zeit nicht gleichmäßig. Bei allen Düngemitteln besteht die Tendenz des Abfallens der P-Verfügbarkeit (Zunahme der Festlegung) von der 4. bis zur 7. Woche; danach bleibt sie unverändert oder fällt weiter ab. Eine überlegene Wirkung eines der untersuchten Phosphatdünger ist nicht zu erkennen.

Bei der Probe Nr. 8 aus Klein-Linden (sL, pH 7,0) zeigen die Rhenania- und Superphosphatreihen eine abnehmende P-Verfügbarkeit (62 $\longrightarrow$ 45% bzw. 74 $\longrightarrow$ 39%). Thomasphosphat tendiert zu zunehmender Verfügbarkeit (76 $\longrightarrow$ 80 %) mit Zunahme der Versuchsdauer. Auch bei diesem neutralen und sandigen Lehm Boden sind die DL-Werte bei Superphosphat am niedrigsten, während die Thomasphosphatreihe die höchsten Werte liefert. Die Ergebnisse dieses ersten Umsetzungsversuches können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Im zeitlichen Ablauf der Umwandlung von Düngerphosphorsäure in verschiedenen Böden bestanden wesentliche Unterschiede bei den geprüften Phosphatdüngemitteln: Eine zunehmende Verfügbarkeit von Thomas- und Rhenaniaphosphat, eine zunehmende Verfügbarkeit von Superphosphat nur in wenigen Fällen, meistens eine Abnahme.
2. Die DL-Werte bei Superphosphat waren am niedrigsten. Sie deuten auf die stärkste Festlegung dieses Düngungsmittels hin. Das tritt besonders bei niedrigem pH-Wert und höherem Tongehalt in Erscheinung.
3. Vielfach wurde bei der niedrigen P-Gabe ein höherer Anteil durch die Laktatmethode erfaßt als bei der höheren Gabe, (Probe Nr. 1, 3, 6, 7, 8).
4. Die höchsten DL-Werte wurden allgemein bei Thomasphosphat, die niedrigsten bei Superphosphat angezeigt.

B 2 UMSETZUNGSVERSUCH MIT MARKIERTEM SUPERPHOSPHAT

Durch Markierung der Phosphatdünger mit P^{32} und Untersuchung der mit diesen markierten Düngern gedüngten Böden und Pflanzen auf ihren Gehalt an P^{32} ist es möglich, den aus dem Düngemittel stammenden von dem aus dem Boden und aus dem Saatgut stammenden Phosphor zu unterscheiden. Somit ist es möglich, die Löslichkeit und die Aufnehmbarkeit der Phosphorsäure aus verschiedenen P-Quellen gesondert und genauer zu bestimmen als mit den konventionellen chemischen Verfahren.

In Anlehnung an SCHARRER und KÜHN (1955) wurde aus nordafrikanischem Rohphosphat $[66,3\% \text{ Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 30,7\% \text{ P}_2\text{O}_5]$ mit P^{32} markiertes Superphosphat unter strenger Einhaltung der notwendigen Vorsichtsmaßnahmen hergestellt. Aus 10g Rohphosphat wurden etwa 17g markiertes Superphosphat mit 19,65% zitratlöslicher P_2O_5 erhalten. Mit diesem markiertem Superphosphat wurde ein zweiter Umsetzungsversuch angelegt, wobei wiederum eine gesteigerte P-Gabe von 26,7 bzw. 53,3 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$ Boden bei den nun zur Verfügung stehenden Böden Nr. 1-12 zur Anwendung kamen. Um den zeitlichen Ablauf der Umwandlung bzw. Festlegung des Düngerphosphates zu ermitteln, wurden nach einer und nach fünf Wochen Proben entnommen. In diesen Proben wurden mittels verschiedener Methoden (DL-Methode; Phosphat-Fraktionierung nach CHANG und JACKSON, 1957, in der Modifikation von SOMMER, 1966) der Phosphor chemisch und radiochemisch bestimmt.

Ergebnisse der 2. Umsetzungsversuche mit ^{32}P markiertem Superphosphat.

$^{32}\text{P}_2\text{O}_5$ im DL-Auszug wurde mit dem GM-Flüssigkeitszählrohr ermittelt; danach wurde die der Aktivität entsprechende Menge ^{31}P nach der Gleichung

$$^{31}\text{P}_{\text{Ende}} = \frac{\text{Aktivität}_{\text{Ende}}}{\text{Aktivität}_{\text{Anfang}}} \cdot ^{31}\text{P}_{\text{Anfang}}$$

errechnet. Die Ergebnisse dieser Umsetzungsversuche mit ^{32}P markiertem Superphosphat sind in der Tabelle 8 zusammenfassend dargestellt. Die Untersuchungen lassen eine unterschiedliche Festlegung der Superphosphat-Phosphorsäure bei den verschiedenen Böden erkennen.

Vergleicht man die Werte der Spalten VI und IX der Tabelle 8, so ergibt sich, abgesehen von zwei extremen Böden (Nr. 6 und 7), eine gute Übereinstimmung der chemischen (kolorimetrischen) und radiochemischen P-Bestimmung im DL-Auszug. Überraschend war, daß vereinzelt bis zu 70% der Dünger- P_2O_5 im DL-Auszug wiedergefunden wurden. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Düngergaben um ein mehrfaches höher waren als sie normalerweise in der landwirtschaftlichen Praxis zur Anwendung kommen, (26,7mg P_2O_5 /100g Boden entsprechen etwa 800 kg/ha P_2O_5).

Wie im vorausgegangenen Umsetzungsversuch mit Rhenania-, Thomas- und Superphosphat ist die starke Festlegung der Düngerphosphorsäure auch hier bei den sauren und tonreichen Böden Nr. 6 (aus Nigeria) und Nr. 7 (Löhlbach) unverkennbar, trotz der höheren P-Gaben.

Es konnten bis zu 26 % (kolorimetrisch) bzw. 18 % (radiochemisch) der gedüngten P_2O_5 wiedergefunden werden. Die beobachteten Abweichungen sind auf den Isotopenaustausch zurückzuführen. Diese Tatsache kommt in den mit fortschreitender Versuchsdauer abnehmenden Werten für

^{32}P (Spalte IX und XVI) zum Ausdruck. Demgegenüber nehmen die DL-Werte (^{31}P) zu.

Aus diesen Ergebnissen muß auf eine starke Festlegung der Düngerphosphorsäure bei gleichzeitiger Freisetzung von nicht markierter Bodenphosphorsäure geschlossen werden. Dieser Befund trifft für die beiden Böden Nr. 6 und 7 zu. Es sei noch darauf hingewiesen, daß der Boden Nr. 6 eine doppelt so hohe ^{32}P -Gabe erhielt wie die übrigen Böden.

Bemerkenswert ist weiterhin, daß auf allen 10 untersuchten Böden bei der einfachen P-Gabe die DL-Werte von der ersten bis zur fünften Woche zunehmen. Bei der doppelten Gabe sind bei den meisten Böden nach 5 Wochen die DL-Werte etwa die gleichen wie nach einer Woche, mit Ausnahme der Böden Nr. 1 und 7, bei denen nach 5 Wochen die Verfügbarkeit ebenfalls deutlich zugenommen hat. Dieser nicht ohne weiteres verständliche Befund, daß bei niedrigen Superphosphatgaben die Verfügbarkeit im Laufe der Zeit zunimmt, stimmt überein mit Beobachtungen aus der Praxis, wo sich gezeigt hat, daß kleinere P-Gaben oft wirksamer sind als höhere Gaben (Annual Report, 1964/65; HARTLEY, 1968). Die Tatsache, daß nach einer Woche die kolorimetrische und die radiochemische Untersuchung die gleiche Verfügbarkeit der Düngerphosphorsäure anzeigen, ist ein Zeichen dafür, daß innerhalb dieser Zeit keine nennenswerten Umsetzungen der Dünger-P mit den Böden stattgefunden haben.

C 3 UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT

Im Verlauf der Untersuchungen wurde die bisher verhältnismäßig kleine Zahl von Versuchsböden durch die Beschaffung anderer Böden (Nr.13-27) aus West- und Zentralafrika erhöht. Mit diesen Böden wurde ein weiterer Umsetzungsversuch mit den drei Phosphatdüngern (Rhenania-, Thomas- und Superphosphat) angelegt. Die P_2O_5 -Düngung wurde auf die Hälfte reduziert und zwar auf 13,3mg P_2O_5 /100g Boden, da bei den vorausgegangenen Versuchen erstaunlich hohe DL-Werte wiedergefunden wurden.

Nach 4 Wochen Versuchsdauer wurde pflanzenverfügbare P nicht nur mittels der DL-Methode untersucht, sondern auch mit der Ammoniumfluorid-Salzsäure-Methode (0,025n HCL und 0,03n NH_4F) nach BRAY und KURTZ (1945) und der H_2O -Extraktionsmethode (NEMEC, 1926). Diese beiden letztgenannten Methoden sollen wie die DL-Methode ebenfalls eine brauchbare Auskunft über die Menge der pflanzenverfügbaren P_2O_5 im Boden geben. Die Versuchsdauer wurde bewußt auf 4 Wochen begrenzt, um Beziehungen ableiten zu können zu den Ergebnissen der Vegetationsversuche, auf die im nächsten Kapitel noch ausführlich eingegangen wird.

Ergebnisse der dritten Umsetzungsversuche:

Die Tabelle 9, 10 und 11 (Seite 44, 45 und 46) enthalten die Ergebnisse des dritten Umsetzungsversuches. Die Daten lassen folgende Gesichtspunkte erkennen:

1. Die einzelnen Methoden zeigen bei gleichen Böden völlig abweichende Werte an, das heißt, es zeigt sich ein unterschiedliches Lösungsvermögen.
2. Die DL-Werte liegen im Durchschnitt niedriger als die der NH_4F -Methode; noch niedriger sind die H_2O -Werte.
3. Bei 75% der neubeschafften Bodenproben (9 von 12 Proben) liegen die DL-Werte in den Thomasphosphatreihen höher als bei den Rhenania- und Superphosphatreihen.

Im Durchschnitt aller Böden liefert die DL-Methode die höchsten Werte bei Thomasphosphat. Die beiden anderen Düngemitteltypen liegen erheblich niedriger und unterscheiden sich außerdem wesentlich voneinander. Dies stellt sich im relativen Sinne folgendermaßen heraus:

Im Durchschnitt aller Proben verhalten sich die DL-Werte wie folgt: Rhenania- : Thomas- : Superphosphat =
 100 : 124 : 92.

4. Die Ammoniumfluorid-Salzsäure-Methode nach BRAY und KURTZ (1945) liefert fast die gleichen Werte bei Rhenania- und Superphosphat. Die Thomasphosphatwerte dagegen waren erheblich niedriger.

Rhenania- : Thomas- : Superphosphat =
 100 80 96.

Bei den einzelnen Böden ist diese Tendenz nicht einheitlich. Bei mehr als 70% der untersuchten Böden liegen aber die Rhenania- und Superphosphatwerte deutlich höher als die Thomasphosphatwerte.

5. Erwartungsgemäß waren die P-Werte der Wasserextraktionsmethode niedrig. Wesentliche Unterschiede in der Verfügbarkeit bzw. Festlegung der Düngerphosphorsäure verschiedener Phosphatdünger wurden mittels dieser Methode angezeigt. Bei allen untersuchten Böden lagen die Thomasphosphatwerte unter denen für Rhenaniaphosphat.

Bei etwa 70% aller Böden liegen die H_2O -Werte der Superphosphatreihen höher als die der Thomasphosphatreihen. Die Feststellung, daß in den einzelnen Böden nicht immer die höchsten H_2O -Werte bei Superphosphat (von der Herstellung aus wasserlöslich), sondern in den meisten Fällen bei Rhenaniaphosphat zu verzeichnen waren, deutet auf ein unterschiedliches Festlegungsvermögen dieser Böden für die verschiedenen Phosphatdünger hin. Die H_2O -Extraktionsmethode zeigt im Durchschnitt bei allen Böden folgende abnehmende Reihenfolge der P-Verfügbarkeit an: Rhenania > Superphosphat > Thomasphosphat im Verhältnis 100:78:67.

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA -, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA - I, THOMAS - UND SUPERPHOSPHAT																
Probe Nr.	Düngerphosphat 13.3 mg P ₂ O ₅ /100g Bd.	NH ₄ F + HCl (BRAYUNG KURTZ)				mg P ₂ O ₅ /100g Bd.				DL (EGNER - RIEHM)						
		BRAY- Werte ohne P- Dgg.	Gesamt- lösli. P ₂ O ₅ mg	Gesamt- lösli. P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	Dgg-P ₂ O ₅ verfüg. %	Relativ	H ₂ O- Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- H ₂ O- lösli. P ₂ O ₅ Dgg.	aus d. Dgg.	Dgg-P ₂ O ₅ verfüg. %	Relativ	DL-Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- DL-P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	DL-P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	Relativ	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
① IS 6.0	Rhenania- (Rh)		5.28	1.28	9.62	100		1.14	0.64	3.3	100		4.3	3.3	24.8	100
	Thomas- (Th)	4.0	4.12	0.21	1.58	16	0.68	1.40	0.72	5.4	163	1.0	4.6	3.6	27.1	109
	Superphos-(super)		4.77	0.77	5.80	60		1.45	0.77	5.8	175		4.3	3.3	24.8	100
⑤ sL 4.5	Rh		7.78	2.18	16.44	100		1.13	0.56	4.2	100		3.0	1.8	13.5	100
	Th	5.6	7.38	1.78	13.38	81	0.57	0.89	0.32	2.4	57	1.2	3.8	2.6	19.55	144
	Super		8.79	3.19	23.98	145		1.11	0.54	4.05	96		3.4	2.2	16.55	122
⑥ LT 4.6	Rh		3.20	1.30	9.78	100		0.52	0.28	2.1	100		0.9	0.2	1.50	100
	Th	1.9	2.54	0.64	4.82	49	0.24	0.47	0.23	1.73	82	0.7	1.1	0.4	3.01	200
	Super		3.16	1.26	9.47	96		0.67	0.43	3.33	158		0.6	0.1	- 0.75	- 50
⑦ L 4.0	Rh		12.31	6.81	51.20	100		0.18	-0.09	- 0.677	100		3.7	2.3	17.3	100
	Th	5.5	11.16	5.66	42.55	83	0.27	0.17	-0.10	- 0.75	110	1.4	3.3	1.9	14.3	82
	Super		13.62	8.12	61.00	119		0.15	-12.00	- 0.903	133		3.8	2.4	18.05	104
⑧ sL 7.0	Rh		7.70	1.60	12.01	100		1.32	0.64	4.81	100		7.9	4.1	30.8	100
	Th	6.1	7.75	1.65	12.40	103	0.60	1.14	0.46	3.46	71	3.8	8.8	5.0	37.6	122
	Super		8.06	1.96	14.71	122		1.29	0.61	4.58	95		8.7	4.9	36.9	119
⑨ S 3.8	Rh		9.65	3.25	24.40	100		1.93	1.22	9.2	100		5.37	3.17	23.8	100
	Th	6.4	8.47	2.07	15.50	63	0.71	1.75	1.03	7.75	84	2.2	5.28	3.08	23.2	95
	Super		9.83	3.43	25.80	105		1.64	0.93	7.00	76		5.08	2.88	21.6	90
⑩ S 5.3	Rh		12.01	5.11	38.40	100		4.02	2.43	18.3	100		8.19	5.59	42.0	100
	Th	6.9	9.57	2.67	20.10	52	1.59	2.86	1.27	9.64	52	2.6	7.54	4.94	37.2	88
	Super		8.98	2.08	15.60	40		3.67	2.08	15.6	85		7.97	5.37	40.5	96

TABELLE 9

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT

Probe Nr.	Düngerphosphat 13,3 mg P ₂ O ₅ /100g Bd.	BRAY- Werte ohne P- Dgg.	NH ₄ F + HCl (BRAY und KURTZ) mg P ₂ O ₅ /100g Bd.				H ₂ O mg P ₂ O ₅ /100g Bd.				DL (EGNER-BRIEM) mg P ₂ O ₅ /100g Bd.					
			Gesamt- lösli. P ₂ O ₅ mg	P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	Dgg. - P ₂ O ₅ verfüg. %	Relativ	H ₂ O- Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- H ₂ O- lösli. P ₂ O ₅ Dgg.	P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	Dgg. - P ₂ O ₅ verfüg. %	Relativ	DL - Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- DL-P ₂ O ₅ mg	P ₂ O ₅ aus d. Dgg.	Dgg. - P ₂ O ₅ verfüg. %	Relativ
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
(11)	Rhenania - (Rh)		11.09	4.99	37.5	100		2.12	1.37	10.3	100		5.08	3.38	25.4	100
S 4 6	Thomass - (Th)	6.1	10.13	4.03	30.3	80	0.75	2.26	1.51	11.3	109	1.7	5.55	3.85	29.95	117
	Superphos (Super)		9.52	3.42	25.7	68		2.15	1.40	10.5	101		4.51	2.81	21.1	83
(12)	Rh		9.15	3.65	27.4	100		2.40	1.67	12.55	100		4.92	3.52	26.5	100
S 4.1	Th	5.5	8.25	2.75	20.7	75	0.73	1.57	0.84	6.3	50	1.4	5.66	4.26	32.0	120
	Super		8.48	2.98	22.4	81		2.02	1.29	9.7	77		5.93	4.53	34.05	128
(13)	Rh		7.17	3.17	23.8	100		1.29	0.71	5.34	100		3.47	1.77	13.3	100
sL 5.2	Th	4.0	7.45	3.45	29.95	109	0.58	0.73	0.15	1.13	21	1.7	4.53	2.83	21.20	159
	Super		5.63	1.63	12.25	51		0.94	0.36	2.71	50		3.59	1.89	14.2	106
(14)	Rh		6.75	3.55	26.7	100		1.23	0.79	5.95	100		2.69	1.49	11.2	100
sL 5.5	Th	3.2	7.29	4.09	30.8	115	0.44	1.00	0.56	4.20	70	1.2	4.17	2.97	22.3	199
	Super		7.45	4.25	32.0	119		0.80	0.36	2.70	45		2.39	1.19	8.95	80
(15)	Rh		10.78	4.38	33.0	100		1.77	1.18	8.87	100		7.93	1.72	12.92	100
uL 6.2	Th	6.4	9.24	2.84	21.4	64	0.59	1.16	0.57	4.28	48	6.2	10.25	4.05	30.4	235
	Super		11.53	5.13	116.0	116		0.77	0.18	1.35	15		7.3	1.10	8.28	64
(16)	Rh		11.71	8.31	62.6	100		1.12	0.71	5.34	100		4.24	3.14	23.6	100
sL 4.1	Th	3.4	10.02	6.62	49.8	79	0.41	0.80	0.39	2.93	54	1.1	3.76	2.66	20.0	85
	Super		11.43	7.03	52.7	84		0.83	0.41	3.08	57		4.17	3.07	23.1	97
(17)	Rh		15.73	5.33	37.4	100		1.55	0.22	1.7	100		14.5	4.80	36.1	100
uL 5.1	Th	10.4	15.13	4.73	35.5	94	1.33	1.23	-0.10	-0.9	53	9.7	15.38	5.68	42.7	118
	Super		15.67	5.27	39.4	105		1.11	-0.22	-1.7	-100		13.31	3.61	27.1	75

TABELLE 10

UMSETZUNGSVERSUCH MIT RHENANIA-, THOMAS- UND SUPERPHOSPHAT

Probe Nr	Düngerphosphat 13,3 mg P ₂ O ₅ /100g Bd	NH ₄ F + HCl (BRAY UND KURTZ)				H ₂ O				DL- (EGNER-BIEHM)						
		BRAY- Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- lösli. P ₂ O ₅ mg	P ₂ O ₅ aus d Dgg.	Dgg. - P ₂ O ₅ verfüg- %	Relativ	H ₂ O - Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- H ₂ O - lösli. P ₂ O ₅	H ₂ O aus d Dgg.	Dgg. P ₂ O ₅ verfüg- %	Relativ	DL - Werte ohne P-Dgg.	Gesamt- DL - P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ aus d Dgg.	Dgg. P ₂ O ₅ verfüg- %	Relativ
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
(18)	Rhenania- (Rh)		3,74	1,84	13,85	100		0,83	0,63	4,7	100		0,92	0,32	2,51	100
tL 5.0	Thomas- (Th)	1.9	3,44	1,54	11,59	83	0.20	0,72	0,50	3,8	80	0.6	0,92	0,32	2,51	100
	Superphos.(Super)		4,01	2,11	15,85	114		0,72	0,50	3,8	80		0,62	0,02	0,15	5
(19)	Rh		6,37	3,47	26,10	100		1,10	0,60	4,5	100		1,29	0,59	4,43	100
tL 4.8	Th	2.9	6,39	3,49	26,22	100	0.5	0,80	0,30	2,26	50	0.7	1,67	0,97	7,3	164
	Super		6,63	3,73	38,05	145		0,89	0,39	2,94	65		1,24	0,54	4,06	91
(20)	Rh		10,42	6,52	49,00	100		1,99	1,19	8,59	100		7,82	5,82	43,7	100
uT 5.6	Th	3.9	8,98	5,08	38,11	77	0.8	1,37	0,57	4,3	48	2.0	8,27	6,27	47,2	108
	Super		9,29	5,39	40,50	82		1,50	0,70	5,3	59		7,84	5,84	43,9	100
(21)	Rh		2,59	1,29	9,70	100		0,61	0,11	0,83	100		1,00	0,50	3,76	100
uL 4.5	Th	1.3	2,75	1,45	10,90	112	0.5	0,47	0,03	0,23	27	0.5	1,03	0,53	3,95	105
	Super		2,28	0,98	7,31	75		0,54	0,04	0,30	36		1,03	0,53	3,95	105
(22)	Rh		26,03	10,03	75,5	100		3,36	0,66	4,96	100		22,03	3,13	23,6	100
uT 5.3	Th	16.0	23,82	7,82	58,8	77	2.7	2,86	0,16	1,19	102	18.9	23,12	4,22	31,7	34
	Super		25,84	9,84	74,0	98		2,88	0,18	1,35	27		21,59	2,69	20,2	85
(26)	Rh		17,86	8,96	67,5	100		2,71	2,29	17,2	100		8,22	4,12	30,9	100
sL 4.6	Th	8.9	15,81	6,91	52,0	77	0.42	1,96	1,54	11,58	67	4.1	8,06	3,96	29,8	96
	Super		17,38	8,48	63,7	94		1,81	1,39	10,45	60		7,51	3,41	25,6	82
(27)	Rh		11,29	5,19	39,1	100		2,54	2,34	17,6	100		3,85	2,15	16,18	100
tL 5.2	Th	6.1	11,48	5,38	40,5	103	0.20	2,11	1,91	14,35	81	1.7	3,81	2,11	15,85	97
	Super		11,32	5,22	39,2	100		1,92	1,72	12,92	73		3,89	2,19	16,50	101
TABELLE 11		ε Rh	100			100					100					100
	ε Th		80			80					67					124
	ε Super		96			96					78					92

D 4 FRAKTIONIERUNG DES ANORGANISCHEN PHOSPHATES IM BODEN VOR UND NACH DER DÜNGUNG

Anschließend an die Ermittlungen der P-Verfügbarkeit im Boden vor und nach der Düngung mittels der erwähnten Extraktionsverfahren ($\text{DL}, \text{NH}_4\text{F}, \text{H}_2\text{O}$) wurde zur Ergänzung der Befunde über das Verhalten der einzelnen Phosphatformen in den verschiedenen Böden eine Phosphatfraktionierung vorgenommen. Es schien sinnvoll, einen Einblick in die Art der P-Bindung im Boden vor und nach der Phosphatdüngung zu gewinnen, um genauere Rückschlüsse auf die Festlegung bzw. das Unlöslichwerden der dem Boden zugeführten Düngerphosphorsäure ableiten zu können.

Es ist bekannt, daß das von den Pflanzen aufgenommene Bodenphosphat keine einheitliche chemisch definierbare P-Form darstellt, sondern daß es aus Phosphat in verschiedenen chemischen und physikalischen Bindungsformen besteht. Die Ca-, Al- und Fe-Phosphate stellen aber die Hauptquelle der P-Versorgung der Pflanzen dar.

"Pflanzenverfügbares" Bodenphosphat, bestimmt mit den verschiedensten chemischen Methoden, enthält alle anorganischen P-Formen, hauptsächlich aber Ca-, Al- und Fe-Phosphate. Die gesamte und die relative P-Menge, die durch ein Extraktionsmittel in Lösung gebracht wird, hängt von den im Boden vorhandenen relativen Anteilen an Ca-, Al- und Fe-Phosphaten sowie von der relativen Löslichkeit dieser P-Fractionen ab. Dabei spielt der chemische und physikalische Zustand des betreffenden Bodens eine bedeutende Rolle.

Die durch ein chemisches Extraktionsverfahren ermittelten P-Werte werden in Korrelation zu den durch Pflanzen aufgenommenen P-Mengen gesetzt, um ihre Übereinstimmung zu prüfen. Verlangt wird ein hohes Bestimmtheitsmaß, (r^2). Von einer idealen Methode sollte man verlangen, daß die durch die betreffende Extraktionslösung ermittelten P-Werte gut korrelieren mit den Pflanzenwerten auf sämt-

lichen Bodenarten oder Bodentypen, bzw. unter sämtlichen Klima- und Vegetationsverhältnissen. Die Vielzahl der vorhandenen Methoden weist schon darauf hin, daß es eine solche ideale Methode nicht gibt. Der Hauptgrund dafür ist, daß die einzelnen Extraktionslösungen ein unterschiedliches Lösungsvermögen für Ca-, Al- und Fe-Phosphate besitzen. So erfaßt die bereits erwähnte saure Extraktionslösung nach TRUOG (0,002n H_2SO_4 -Lösung, pH 3,0) hauptsächlich die Ca-Phosphate. Andererseits löst SAUNDER's 0,1 n NaOH-Lösung hauptsächlich Al, Fe-, dagegen sehr wenig Ca-Phosphate.

BRAY's Ammoniumfluoridlösungen mit verschiedenem Säuregrad sollen die drei P-Formen gleichmäßiger in Lösung bringen, weil die F-Ionen in sauren Medien Komplexverbindungen mit Fe- und Al-Ionen bilden können, hauptsächlich aber mit Al-Ionen. Die Grenzen und Möglichkeiten der Anwendung der verschiedenen Methoden sind vielfach in dem umfangreichen Schrifttum heftig diskutiert worden. Keine der zahlreichen Methoden hat sich als befriedigend und als universell akzeptabel erwiesen, - nach Abschätzung ihrer Übereinstimmung mit der P-Aufnahme durch die Pflanze.

Die Bemühungen der Wissenschaft, alternative Wege zur Ermittlung der pflanzenaufnehmbaren P_2O_5 zu finden, ist nicht neu. Schon 1938 bemerkte DEAN, daß man über ein Jahrhundert lang ohne befriedigende Ergebnisse versucht habe, das verfügbare Bodenphosphat mittels verdünnter Säuren oder schwach saurer Lösungen zu bestimmen. Er schlug als Lösung dieses Problemes eine mögliche exakte Fraktionierung der Bodenphosphatverbindungen vor und empfahl eine sinngemäße Interpretation der Verfügbarkeit solcher P-Fraktionierungen im Hinblick auf die Eigenschaften des betreffenden Bodens. Die Fraktionierung von anorganischem Bodenphosphat wurde von FRAPS (1906), FISCHER und THOMAS (1935), WILLIAMS (1937), DEAN (1938) und GHANI (1943) eingehend untersucht.

Jedoch erst 1957 gelang es CHANG und JACKSON, einen Trennungsgang zu entwickeln, der die anorganischen Bodenphosphate in nahezu definierbare chemische Formen anord-

net. Sie klassifizierten diese anorganischen P-Formen in vier verschiedene Gruppen:

Calcium-Phosphate

Eisen-Phosphate

Aluminium-Phosphate

und schwer lösliche Phosphate (reductant soluble).

Die Fraktionierung des anorganischen Boden-P in diese definierten P-Formen soll ihrer Ansicht nach die Erfassung des chemischen Status des Boden-Phosphates sowie des dem Boden zugeführten Düngerphosphates ermöglichen. Sie wird in zunehmendem Maße angewandt, um spezielle Probleme der Phosphatdynamik, der Bodenentwicklung und der Bodenfruchtbarkeit zu lösen. Zur weiteren Klärung der Frage sucht CHANG (1965) durch Ermittlung der relativen Anteile an Ca-, Al- und Fe-Phosphat beizutragen:

- a) im Boden
- b) im Extraktionsmittel (aus der Differenz der Bodenfraktionen vor und nach der Extraktion)
- c) in der Pflanze (aus der Differenz vor und nach der Bepflanzung).

Diese Methode hat sich besonders in Reisanbaugebieten Taiwans bewährt und durchgesetzt (CHANG, 1965).

Die Bestimmung der verschiedenen anorganisch gebundenen P-Formen nach CHANG und JACKSON wird durch nacheinander erfolgende Extraktion von 1g Boden ($\phi < 0,5\text{mm}$) mit verschiedenen verdünnten Lösungen vorgenommen:

Mit: $n \text{ NH}_4\text{Cl}$ (30 min)	leichtlösliches P
: $0,5n \text{ NH}_4\text{F}(\text{pH } 8,5)$ (60 min)	Lösung der Al-P durch komplexe Al-Bindung
: $0,1n \text{ NaOH}$ (17 std)	Lösung der Fe-P
: $0,5n \text{ H}_2\text{SO}_4$ (60 min)	Lösung der Ca- und Mg-P

: 'O, 3n-Na-Citrat	Lösung der unter reduzierenden
+ Na ₂ S ₂ O ₄	Bedingungen löslichen (okkludierten)
(15 min)	Fe-Phosphate

Mit der methodischen Problematik der P-Fraktionierung haben sich zahlreiche Autoren beschäftigt (FIFE, 1959; KHIN und LEMPER, 1960; MADL, 1960; ASKINAZI et al, 1963; SOMMER, 1966; KHANNA und ULLRICH, 1967); es soll hier nur angedeutet werden, daß die Zuordnung der Extraktfraktionen zu bestimmten Phosphatformen im Boden nicht fehlerfrei und nur bedingt möglich ist. Teilweise ist das Extraktionsmittel nicht hinreichend selektiv, um nur eine bestimmte Phosphatform aus dem Boden zu lösen, teilweise finden während der verschiedenen Extraktionsschritte Nebenreaktionen statt, die zu einer Verschleppung von bereits gelöstem Phosphat in nachfolgende Fraktionen führen.

Es wurden daher verschiedene Modifikationen vorgeschlagen. Eine davon ist die von SOMMER (1966), nach der in der vorliegenden Arbeit verfahren wurde. Die hierbei angegebene Extraktion mit Citrat-Dithionit wurde nicht vorgenommen. Sie unterscheidet sich von der ursprünglich vorgeschlagenen Methode von CHANG und JACKSON im wesentlichen dadurch, daß der Bodenrückstand nicht mit Natriumchloridlösung, sondern jeweils mit Natriumsulfatlösung ausgewaschen wurde.

Die Ergebnisse der Phosphatfraktionierung:

Die Böden aus dem Umsetzungsversuch mit markiertem Superphosphat wurden nach einer und nach fünf Wochen der P-Fraktionierung unterworfen. Alle Böden waren mit 53,3 mg P₂O₅/100g Boden in Form von markiertem Superphosphat gedüngt worden mit Ausnahme von Nr. 6, der die doppelte Gabe von 106,6mg P₂O₅ erhielt. Die in den jeweiligen Fraktionen ermittelte Aktivität von ³²P wurde durch die Berechnung der spezifischen Aktivität auf die entsprechende Menge Düngerphosphat umgerechnet. Auf diese Weise wurde die entsprechende P-Menge in den einzelnen Fraktionen, die der Düngerphosphorsäure entstammen, (Tabelle 12 und

13, Seite 52, Spalte VIII und XII) gefunden. Drückt man die gefundenen P-Gehalte der einzelnen Fraktionen in % der gedüngten P_2O_5 -Menge aus, so wird die Phosphatanreicherung in den einzelnen Fraktionen deutlich, (% Umwandlung). Die Werte der Spalte V (Tabelle 12 und 13, Seite 52) vermitteln ein Bild über die P-Formen der ursprünglichen ungedüngten Böden.

Eine klare Tendenz der Phosphatformenverteilung im Hinblick auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften der unterschiedlichen Böden läßt sich nicht erkennen. Bei den nigerianischen Latosolen Nr. 1-6 und 9-11 liegt der anorganisch gebundene Phosphor vorwiegend in der Eisenbindungsform vor und beträgt zum Teil mehr als 80% der gesamten extrahierten anorganischen P-Fraktionen. Die nächst größere Fraktion stellt das Aluminium-Phosphat dar. Der Anteil am Calcium-Phosphat ist durchweg sehr gering. Bei dem stark sauren Boden Nr. 7 ist ebenfalls die Fe-Phosphatfraktion überwiegend, aber die an Aluminium gebundene Fraktion ist auch beträchtlich, so daß beide, Fe-P und Al-P, etwa 35% der gesamten extrahierten P-Fraktionen darstellen. Im Gegensatz hierzu steht die Phosphatverteilung bei den neutralen sandigen Leimböden Nr. 8 aus Klein-Linden, bei dem die an Calcium gebundene Phosphatform vorherrscht und etwa 45% der gesamten P-Fraktionen ausmacht. Bei der Probe Nr. 12 liegen fast 90% in Form der Fe- und Al-Fraktionen vor.

Diese Befunde lassen darauf schließen, daß die starke Verwitterung der nigerianischen Böden, verbunden mit einem Basenverlust, zu einer bevorzugten Bildung von Fe- und Al-Phosphaten geführt hat. Die hier erhaltene P-Formenverteilung wird durch die Arbeiten von ENWIEZOR und MOORE (1966) in Nigeria, CHANG, 1965, in Taiwan, PARISH (1965) in Mauritius und BLASCO und BOHORQUEZ (1968) in Columbien bestätigt.

Bei Untersuchungen an zwei Böden Südost-Nigerias ermittelte UNAMBA-OPARAH (1965) folgende Phosphatfraktionen:

FRAKTIONIERUNG DES ANORGANISCHEN PHOSPHATES IM BODEN.

FRAKTIONIERUNG DES ANORGANISCHEN P ₂ O ₅ IN 100g BODEN													
Probe Nr.	Boden- art pH (KCL)	Ges.-P mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Anorg. P-Formen	Ungedüngt		1 Woche nach Dgg mit 53,3 mg P ₂ O ₅ / 100g Boden			5 Wochen nach Dgg mit 53,3 mg P ₂ O ₅ / 100g Bod.				
				mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Umwandlg. der Dgg. P ₂ O ₅ in %	Kolorimetrisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Radiochemisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Umwandlg. der Dgg. P ₂ O ₅ in %	Kolorimetrisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Radiochemisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bod.	Umwandlg. der Dgg. P ₂ O ₅ in %		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
1	IS 60	123	Al-P	2.5	22.9	38.2	23.6	44.2	37.0	64.7	36.5	68.5	88.7
			Fe-P	4.7	9.0	8.0	7.0	13.1	10.0	9.9	9.4	17.6	
			Ca-P	—	2.2	4.1	1.6	3.0	3.5	6.6	1.4	2.6	
4	sL 4.5	125	Al-P	2.2	31.9	55.6	34.7	64.9	39.3	69.0	41.7	78.2	99.3
			Fe-P	7.2	12.6	10.0	7.5	14.1	15.0	14.6	9.2	17.3	
			Ca-P	—	2.2	4.1	0.7	1.3	3.0	5.6	2.0	3.8	
5	sL 4.5	157	Al-P	4.8	30.5	48.3	29.9	56.0	38.1	62.3	36.8	68.9	95.5
			Fe-P	12.7	19.6	11.3	12.8	24.2	26.4	25.8	13.1	24.6	
			Ca-P	—	2.5	4.7	1.1	2.0	2.8	5.2	1.1	2.0	
* 6	IT 4.6	313	Al-P	3.5	44.6	38.6	48.1	45.1	55.7	49.0	50.0	46.9	96.3
			Fe-P	29.6	68.5	36.5	47.0	44.1	75.6	43.2	48.0	45.0	
			Ca-P	5.6	7.7	2.0	3.8	3.6	13.3	7.2	4.7	4.4	
7	L 4.0	327	Al-P	23.5	42.2	35.1	18.2	36.1	43.4	37.3	20.0	37.5	60.4
			Fe-P	36.1	46.5	19.5	11.8	22.1	54.5	34.9	11.5	21.6	
			Ca-P	6.7	7.1	0.8	0.6	1.1	13.2	12.2	0.7	1.3	

TABELLE 12

FRAKTIONIERUNG DES ANORGANISCHEN PHOSPHATES IM BODEN

Probe Nr.	Boden: art pH (KCL)	Ges.-P mg P ₂ O ₅ in 100g Bd	Anorg P. För- men	Ungedüngt		1 Woche nach Dgg mit 53,3mg P ₂ O ₅ /100g Bd				5 Wochen nach Dgg. mit 53,3mg P ₂ O ₅ /100gBd			
				mg P ₂ O ₅ in 100g Bd	Radiochemisch Umwandlg. d. Dgg P ₂ O ₅ in %	Kolorimetrisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bd	Radiochemisch Umwandlg. d. Dgg P ₂ O ₅ in %	Kolorimetrisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bd	Radiochemisch Umwandlg. d. Dgg P ₂ O ₅ in %	Kolorimetrisch mg P ₂ O ₅ in 100g Bd	Radiochemisch Umwandlg. d. Dgg P ₂ O ₅ in %		
8	sL 7.0	180	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
9	S 3.8	130	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
10	S 5.3	137	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
11	S 4.6	127	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
12	S 4.1	110	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	

TABELLE 13

Bodentyp	Ferrisol	Schwarzerdeähnlicher Boden
1-20 cm Tiefe		
pH	4,9/4,1	5,5/4,7
Al-P	54,6 ppmP	645,0 ppmP
Fe-P	82,5 ppmP	1422,5 ppmP
Ca-P	15,6 ppmP	4135,0 ppmP

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß in dem stark verwitterten Ferrisol das anorganische Phosphat hauptsächlich an Eisen gebunden ist (Fe-P 55%) während bei dem weniger verwitterten schwarzerdeähnlichen Boden die an Calcium gebundene Phosphatform vorherrscht und 67% aller P-Fractionen ausmacht. Der Spalte V (Tabelle 12 und 13, Seite 52 und 53) ist weiterhin zu entnehmen, daß bei keinem der untersuchten Böden die Aluminium-Phosphatform überwiegend vorliegt.

Bei Anreicherung der Böden mit Düngerphosphat entsteht jedoch ein anderes Bild. Unabhängig von der Bodenart und -herkunft, auch unabhängig von der Bodenreaktion, wurde der größte Anteil der Düngerphosphorsäure in der Al-Fraktion wiedergefunden.

Merkwürdig ist die bei sämtlichen Böden geringe Anreicherung der Dünger- P_2O_5 in der Ca-Fraktion. Sie liegt bei diesen Böden um 5%, während bereits in der ersten Woche die Zunahme der Al-Fraktion bis zu 60% betrug.

Auch bei dem neutralen Boden Nr. 3, bei dem die Ca-Fraktion im Ausgangsboden beträchtlich hoch war, gehörten die bei Umsetzung der Dünger- P_2O_5 neugebildeten Phosphatformen fast vollständig der Al- und Fe-Fraktion an. Eine gute Übereinstimmung zwischen den kolorimetrisch und radiochemisch ermittelten Umwandlung war im allgemeinen zu verzeichnen. Auch die durch ^{32}P ermittelte Phosphatmenge in den einzelnen P-Fractionen ergibt die abnehmende Reihenfolge Al-P Fe-P Ca-P. Die Art und den Umfang der Anrei-

cherung bzw. der Festlegung der Düngerphosphorsäure im zeitlichen Ablauf entnimmt man den Spalten VII und XI, Tabelle 12 und 13, Seite 52 und 53). Dabei zeigt sich eine unterschiedliche Zunahme der einzelnen Fraktionen innerhalb der Versuchsdauer von der 1. bis zur 5. Woche. Sie liegen bei Al- und Fe-P um 10-20%, bei Ca-P dagegen meistens nur um 1-2%.

Am Beispiel der Proben Nr. 4, 8 und 10 soll diese Erscheinung näher betrachtet werden. In der ersten Woche waren 70-80% des Düngerphosphates in Al- und Fe-P umgewandelt und nach 5 Wochen war eine Umwandlung von 80-93% zu verzeichnen. Ähnliches gilt für die Probe Nr. 8, bei der in der ersten Woche 73-87% und nach 5 Wochen noch 83-89% des Düngerphosphates in Form von Al-, Fe- und Ca-P vorlagen. Bei der Probe Nr. 10 wurde eine Anreicherung von 73-81% des Düngerphosphates in der ersten Woche bzw. von 75-82% in der 5. Woche angezeigt.

Dies besagt, daß die Umwandlung der Düngerphosphorsäure bei den Böden Nr. 4, 8 und 10 bereits früher eingetreten und rascher erfolgt ist und daß dann die Bildung von Al- bzw. Fe-Phosphat nur noch langsam fortschreitet. Erstaunlich bei sämtlichen Böden ist, daß die Überführung des Düngerphosphates in die verschiedenen Fraktionen nach der 5. Woche fast vollständig ist und bis zu 95% der Düngerphosphorsäure beträgt.

Diese Befunde stehen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren. Bei indischen Böden stellten BAPAT und BEDEKAR (1965) fest, daß 80% der dem Boden in Form verschiedener Düngemittel zugeführten P_2O_5 (1000ppm) festgelegt wurden, wobei der pH-Wert bestimmend für die Art der P-Festlegung war. SOMMER berichtete (1967), daß bereits nach zwei Tagen in Lößlehm 98%, im Urgesteinsboden 98%, im Buntsandstein 97%, im Lettenkeuper 87% und im Juralehm 79% des Düngerphosphates (Monocalciumphosphat) vorwiegend in Form von Al-, Fe- und Ca-Phosphat vorlagen. Bei der Zugabe von 50 mg P_2O_5 /100g Boden beobachtete GLIN-TIC (1966) in Jugoslawien, daß bei den untersuchten Böden

95-100% in den Fe- und Al-Phosphatfraktionen wiederzufinden waren; bei einer höheren Gabe von $100\text{mgP}_2\text{O}_5$ waren es 90-95 %.

Über die extrem rasche Umwandlung von Düngerphosphat bei Mangrove-Schlamm Böden in Westafrika berichtet HESSE (1963). Das Gleichgewicht wurde in der ersten Stunde erreicht, und fast 90% der Sorption soll innerhalb der ersten fünf Minuten stattgefunden haben. Die bei den eigenen Untersuchungen ermittelten Werte decken sich weitgehend mit den Ergebnissen von FASSBENDER (1968), der die Phosphatfestlegung bei 14 Böden Costa Ricas untersuchte. Er fand, daß das Al-P den größten Fixierungsanteil im Boden erreicht und zwar mit einem Maximalwert von 87,4%. An zweiter Stelle stand die Festlegung als Fe-Phosphat. Al- und Fe-Phosphate zeigten einen durchschnittlichen Anteil der Gesamtfestlegung von 96,96% bei Andosolen, 86,96% bei den Latosolen und 83,5% bei Alluvialböden. Unbedeutend war die Fixierung als Ca-Phosphat mit weniger als 2% der gesamten Festlegung.

In keinem der von CHANG und CHU (1961) untersuchten 70 Böden Taiwans war von Hause aus das Al-P vorherrschend, jedoch wurde das zugegebene lösliche Düngerphosphat zuerst in die aluminiumfraktion umgesetzt und als Al-P festgelegt. Wahrscheinlich geht das zunächst neugebildete Al-P allmählich in Fe-P über. HESSE (1963) konnte bei westafrikanischen Schlamm Böden nachweisen, daß das zunächst an Aluminium gebundene Phosphat innerhalb von drei Monaten an andere Kationen verloren ging. Auch die neugebildeten Ca-Phosphate wurden im Laufe der Zeit in Eisenphosphat umgesetzt.

So wird es erklärlich, daß in den stark verwitterten nigerianischen Latosolen das Fe-P vorherrscht, in dem weniger verwitterten deutschen Boden Nr. 8 das Ca-Phosphat und in dem intermediär verwitterten Boden Nr. 7 sowohl Ca- als auch Fe-Phosphate die Hauptphosphatverbindung darstellen.

Daß die Festlegung, bzw. die Umwandlung von Düngerphosphaten in Al-P nicht nur nachteilig, sondern auch von großer positiver Bedeutung sein kann, zeigt das Beispiel der aluminiumreichen Sumpfreisanbaugebiete, wo die Aluminiumtoxizität durch diese Bindung an P erheblich vermindert wird (HESSE, 1963).

Zusammenfassung der Ergebnisse der anorganischen Phosphatfraktionierung.

Der Zweck der Phosphatfraktionierung war, einen Einblick in die Art der Phosphatbindung im Boden vor und nach der Düngung zu gewinnen. Hierbei bleibt zu bedenken, daß als P-Dünger Superphosphat verwendet wurde und die Ergebnisse nur für dieses Düngemittel Gültigkeit haben. Allerdings deuten die Untersuchungen von WIECHMANN (1968) darauf hin, daß auch bei Verwendung von Thomasphosphat eine bevorzugte, wenn auch nicht so ausgeprägte Bildung von Al- und Fe-Phosphat eintritt. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Bei sämtlichen untersuchten nigerianischen Latosolen liegt das anorganisch gebundene Bodenphosphat vorwiegend in der Eisenform vor, und es beträgt etwa 80% der gesamten extrahierbaren anorganischen P-Fraktion; die nächst größere Fraktion stellt das Aluminiumphosphat dar.
2. Auch bei dem stark sauren Boden Nr. 7 herrscht das Fe-Phosphat vor, das Al-P ist aber daneben beträchtlich.
3. Mit 45% der gesamten Phosphatfraktionierung liegt das an Calcium gebundene Phosphat bei dem neutralen Boden Nr. 8 am höchsten. Danach folgt das Eisenphosphat.

4. Der größte Anteil des Düngerphosphates wurde in der Aluminiumfraktion vorgefunden (bis zu 60%), der geringste Anteil in der Calciumfraktion ($< 5\%$). Erstaunlich ist, daß bei den Proben Nr. 1 und Nr. 8 (schwach sauer bzw. neutral) praktisch keine Umwandlung von Düngerphosphat in Calciumphosphat stattgefunden hat.

Die Analyse der ungedüngten Böden zeigt aber ebenfalls, daß mit der Ausnahme von Boden Nr. 8, Calciumphosphat entweder gar nicht oder nur zu einem geringen Teil in den Ausgangsböden vorhanden ist. Die Tatsache, daß während der Versuchsdauer der größte Teil des Düngerphosphates in Al-P umgewandelt wird, während im ursprünglichen Boden der größte Teil der bei der Fraktionierung erfaßten P_2O_5 als Fe-Phosphat vorliegt, deutet darauf hin, daß im Boden eine Umwandlung von Aluminiumphosphat in Eisenphosphat stattfindet, die sich aber offenbar über längere Zeiträume hinweg erstreckt.

5. Die Umwandlung, bzw. Festlegung der Düngerphosphorsäure setzt bald nach der Düngung ein. Sie wird größtenteils in Al- und Fe-Phosphat überführt. Dabei spielten zumindest innerhalb der Versuchsdauer die Bodenreaktion, die Bodenart und die Herkunft keine wesentliche Rolle.

6. Bis zu 95% des Düngerphosphates wurden nach 5 Wochen in den untersuchten P-Fractionen gefunden.

IV VEGETATIONSVERSUCHE MIT SALAT

A. Allgemeines:

Die Frage nach dem Wert einer chemischen Methode zur Ermittlung der Düngerbedürftigkeit des Bodens kann nur durch ein physiologisches Verfahren, den Pflanzenversuch, beantwortet werden. Die sicherste Methode, um die Brauchbarkeit der chemischen Methode zu beurteilen, ist der Feldversuch. Er ist allerdings sehr langdauernd und arbeitsaufwendig. Dazu ist noch notwendig, daß die Untersuchung an Ort und Stelle im gewachsenen Boden stattfinden muß, was, wir hier im Falle afrikanischer Böden, fast unmöglich ist. Die Überprüfung mittels des Gefäßversuches erscheint ebenfalls berechtigt. Das erfordert aber, insbesondere beim Anbau einer ausreichenden Zahl von Parallelgefäßen, eine ebenfalls erhebliche Bodenmenge (mindestens 50 kg), Mengen, die für die vorliegenden Untersuchungen nicht vorhanden waren.

Auch die Keimpflanzenmethoden können als pflanzenphysiologische Methoden gelten. Von ihnen ist die NEUBAUER-Methode (1923), mit Roggen als Testpflanze, die bekanntesten (Verbandsmethode seit 18. Februar 1936; Einheitsmethode zur Nährstoffkontrolle und Düngungsberatung seit dem 1. Januar 1939).

Das Verfahren ist seinem Wesen nach ebenfalls eine Extraktionsmethode. Der Unterschied gegenüber chemischen Extraktionen besteht aber darin, daß durch die lebende Pflanzenwurzel eine ständige Lösung und Aufnahme der Nährstoffe erfolgt. Dadurch, daß man auf einer geringen Menge Bodens eine große Zahl von Pflanzen wachsen läßt, ist es möglich, dem Boden in kurzer Zeit seine aufnehmbaren Nährstoffe zu entziehen, was im Gefäß- und Feldversuch eine ganze Vegetationsperiode dauert.

Neben großen Vorteilen, die die Keimpflanzenmethode von NEUBAUER als physiologisches Verfahren gegenüber chemischen Verfahren auszeichnen, besitzt sie allerdings den schwerwiegenden Nachteil, daß der Blindwert zu hoch

ist, d.h., daß der Aschengehalt der ausgelegten Roggen-samen verhältnismäßig groß ist. Aufgrund dieses hohen Blindwertes ist EHRENDORFER (1957) zu einer anderen Test-pflanze (Salat, *Lactuca sativa* L.) übergegangen, die ei-nen sehr niedrigen Blindwert hat; die Ergebnisse der Salatmethode sind deshalb nicht nur genauer als die der Keimpflanzenmethoden von NEUBAUER, sondern sie sind auch nach Ansicht von EHRENDORFER aufgrund der guten Repo-duzierbarkeit zuverlässiger. Bei der Keimpflanzenmethode nach NEUBAUER sind die in Abzug zu bringenden Blind-werte beim Kalium (über 50%) etwa ebenso hoch wie das endgültige Untersuchungsergebnis; beim Phosphor sind sie noch wesentlich höher, teilweise über 80% (Tabelle 14, Seite 60).

TABELLE 14:

Verhältnis der Blindwerte zum Gesamtgehalt an Kalium und Phosphor bei der Keimpflanzenmethode nach NEUBAUER (EHRENDORFER, 1957).

Blindwerte in mg	Nährstoffaufnahme bei mittel versorgten Böden in mg	Verhältnis des Blind- wertes zum Gesamtgewicht
Kalium (K_2O)		
20-25	15-26	43-62%
Phosphor (P_2O_5)		
27-30	4- 7	79-88%

Weitere Nachteile der Keimpflanzenmethode mit Roggen sind die Ungleichmäßigkeiten im Saatgut und die Tatsache, daß manche Böden relativ hohe K_2O - und P_2O_5 - Mengen (Tabelle 15, Seite 61) des Roggensamens absorbieren können. Dies hat zur Folge, daß negative P_2O_5 -Werte keine Seltenheit sind.

TABELLE 15:

Gegenüberstellung des Samengewichtes und der Inhaltsstoffe der beiden Testpflanzen Roggen und Salat (EHRENDORFER, 1957).

	Roggen	Salat	Salat in %
TKG	40g	1g	2,5%
Gewicht der pro Schale ausgelegten Samen	4g	0,075g	1,9%
Kalium in den ausge- legten Samen	25mg	0,8mg	3,2%
Phosphor in den aus- gelegten Samen	30mg	2,0mg	6,7%

Um diesen und anderen Schwierigkeiten, wie sie bei tropischen Böden oder Waldböden auftreten, zu begegnen, hat man schon früher versucht, den Roggen durch andere Testpflanzen zu ersetzen (ROEMER und SCHEFFER, 1929, durch Reis; JACOB, 1933 durch Reis; SÜCHTING, 1942 durch Kiefern-samen). Als Ergebnis der Versuchsreihen mit Roggen im Warmhaus Lichterfelde (BRD) und in Pasoeroean (Java) war festzustellen (JACOB, 1933), daß der Roggen generell für die Durchführung der Keimpflanzenmethode in den Tropen nicht geeignet ist.

Speziell für die vorliegende Arbeit und besonders unter Berücksichtigung der vorausgegangenen chemischen Analysen, die ergeben hatten, daß fast alle Böden sehr schlecht mit Phosphat versorgt waren, mußte deshalb bei den vorliegenden Untersuchungen die Keimpflanzenmethode mit Roggen ausscheiden. Demgegenüber erschien die Salatmethode nach EHRENDORFER für diese Untersuchungen durchaus als geeignet. Der Literatur ist nicht zu entnehmen, ob, - sei es in gemäßigten Klimaten oder in den Tropen -, andere Institute, außer dem Institut für Pflanzenbau und

Pflanzenzüchtung der Hochschule für Bodenkultur in Wien, die Salatmethode für Massenuntersuchungen verwenden. Da sie weniger bekannt sein dürfte als die NEUBAUER-Methode, wird hier die methodische Durchführung nach EHRENDORFER nochmals angegeben.

DIE TECHNIK DER SALATMETHODE

Das Tausendkorngewicht des Salates beträgt etwa 1g und der N-, K- und P-Gehalt des Samens liegt im Durchschnitt bei etwa 5% N, 1% K_2O und 2,5% P_2O_5 . Um eventuell vorhandene Sortenunterschiede auszuschalten, wird immer die gleiche Sorte und das gleiche Saatgut desselben Jahres für eine größere Versuchsserie verwendet.

Das Ankeimen

Der Salatsamen wird auf feuchtem Filterpapier etwa 36 Stunden in Dunkelheit bei 25°C im Keimschrank angekeimt. Wichtig ist genügender Luftzutritt zu den Samen; dieses erreicht man dadurch, daß das feuchte Filterpapier auf ein Netz gelegt wird, welches mit seinen Enden in Wasser eintaucht. So entsteht ein optimales Keimbett für die Samen. Beim Auslegen in den Boden sollen die Keimwurzeln ungefähr die Länge des Samens erreicht haben.

Sand-Bodenmischung

Zur Durchführung des eigentlichen Versuches werden 100g des zu untersuchenden Feinbodens ($\phi < 2mm$) mit 240g Quarzsand gut vermischt. Der Feinboden muß lufttrocken sein. Der Quarzsand soll eine Siebung kleiner als 2mm (abs. Wasserkapazität 25%) besitzen. Er wird gewaschen und getrocknet. Enthält der Sand Kalifeldspäte, so ist eine Reinigung mit Salzsäure nötig.

Nährlösung

Diese Mischung von Sand und Feinboden wird in Neubauerschalen ($\phi = 11\text{cm}$ und Höhe = 6cm) eingefüllt, mit 80ml Nährlösung begossen und dann mit 30 g feinerem Sand ($\phi < 0,4 - 0,7\text{mm}$) abgedeckt. Im Gegensatz zu der Keimpflanzenmethode wird nicht mit destilliertem H_2O , sondern mit einer kalium- und phosphorfreien Nährlösung gegossen, die außer $17,9\text{mg N}$ pro 80cm^3 auch Mg , Ca , S , Fe und Spurenelemente enthält.

Die Zusammensetzung der kalium- und phosphorfreien Nährlösung:

$\text{m NH}_4\text{NO}_3$	davon	$5\text{cm}^3/\text{l}$	=	$400\text{mg/l NH}_4\text{NO}_3$
$\text{m Ca(NO}_3)_2$	davon	$3\text{cm}^3/\text{l}$	=	$492\text{mg/l Ca(NO}_3)_2$
m MgSO_4	davon	$1\text{cm}^3/\text{l}$	=	120mg/l MgSO_4
		$9\text{cm}^3/\text{l}$		

Von jeder der unten angeführten vier Spurenelementlösungen wird je 1cm^3 einem Liter Nährlösung zugesetzt. Spurenelementlösungen A, B, C, D.

Lösung A: $30\text{g Eisenammoniumzitat/l}$

Lösung B: $2,6\text{g Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O/l}$

Lösung C: $3,0\text{g MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O/l}$

$1,2\text{g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/l}$

$0,9\text{g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O/l}$

Lösung D: je $0,056\text{g/l Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; TiO_2 und je $0,028\text{g/l}$ von LiCl , $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KJ , KBr .

Pflanzenzahl

Nach dem Begießen mit 80ml Nährlösung und Abdecken mit 30g feinem Sand werden dann für 75 Samen die Saatlöcher vormarkiert und die Samen vorsichtig mit einer Pinzette ausgelegt. Beim Auslegen werden die Keimwurzeln der Samen in die 7-8mm tiefen Saatlöcher eingeführt. Der Samen selbst bleibt an der Oberfläche des Sandes liegen, so daß eine vollkommen gleichmäßige Saattiefe erreicht wird. Anschließend wird mit 30g feinem Quarzsand abgedeckt und jede Schale mit einer Glasplatte bis zum Aufgang der Pflanzen zugedeckt.

Wiederholungen

Von jeder Bodenprobe werden drei Schalen angesetzt. Das Gesamtgewicht der fertig ausgelegten Schale wird auf dem Etikett vermerkt, und während der 21-tätigen Vegetationszeit stehen die Pflanzen in Lichtschränken oder im Neubauerraum unter künstlichem Licht (Leuchtstoffröhren) : 12 Stunden Licht, 12 Stunden Dunkelheit. Täglich wird das evaporierte und das transpirierte Wasser durch Nährlösung ersetzt. Wie bei der Keimpflanzenmethode werden auch bei der Salatmethode Blindproben angelegt, und zwar mit 500g Sand.

Ernte

Blätter und Wurzeln müssen verlustlos geerntet werden. Beim Auswaschen der Wurzeln benötigt man ein feinesmaschiges Sieb. Die Pflanzen pro Schale werden gezählt; ist die Zahl kleiner als 72, so sind die Werte dieser Wiederholung nur mit Vorbehalt zu verwenden. Die Aufarbeitung der Trockensubstanz zur P-Bestimmung erfolgte nach der VANADAT-MOLYBDAT-METHODE (GERICKE und KURMIES, 1952).

Bei den eigenen Untersuchungen wurde die Salatsorte "Maikönig" verwendet, deren P-Gehalt $1,5\text{mg P}_2\text{O}_5$ pro 75 ausgelegten Samen beträgt.

B. Versuch mit markiertem Superphosphat

Nach einem Vorversuch mit Düngungssteigerung bei zwei Böden wurde die erste Versuchsreihe mit radioaktiv markiertem Superphosphat bei den derzeit zur Verfügung stehenden Bodenproben Nr. 6-12 angelegt. Die Versuchsanlage war folgendermaßen:

Boden Nr. 6: P_0

P_1 26,7mg P_2O_5 /100g Boden

P_2 53,3mg P_2O_5 /100g Boden

Böden Nr.

7-12 : P_0

P_1 13,3mg P_2O_5 /100g Boden

P_2 26,7mg P_2O_5 /100g Boden

Alle Varianten erhielten zusätzlich 40mg K_2O je 100g Feinboden in Form von KCL. Gedüngt und angefeuchtet wurden die Böden am 13.1.1969, aber erst eine Woche später wurden die vorgekeimten Salatsamen ausgelegt. Die Salatversuche und die Umsetzungsversuche ohne Pflanzen wurden so aufeinander abgestimmt, daß insgesamt eine Versuchsdauer von 4 Wochen zustande kam. Diese wurde dadurch erreicht, daß bei den Salatversuchen der Düngerphosphorsäure eine Woche lang Gelegenheit gegeben wurde, sich mit dem Boden umzusetzen und erst danach drei Wochen lang die Salatpflanzen darauf wuchsen, während bei dem Umsetzungsversuch ohne Pflanzen die Verfügbarkeit des Düngerphosphates nach 4 Wochen mit verschiedenen chemischen Methoden ermittelt wurde. Diese Versuchsanstellung gilt sowohl für den ersten Versuch mit Superphosphat als auch für die nachfolgenden Versuchsreihen mit verschiedenen Phosphatdüngern.

Versuchsergebnisse

Vegetationsbeobachtungen und Ausnutzung der Düngerphosphorsäure:

Die Entwicklung der Salatpflanzen wurde während der Vegetationsdauer ständig beobachtet. Es ergab sich eine unbefriedigende Entwicklung der Salatpflanzen bei gewissen Böden, die auf einen ungünstigen pH-Wert zurückgeführt wurde. (Versuchsböden Nr. 7, 9 und 12 mit pH-Werten von 4,1/4,0; 4,7/3,8 bzw. 5,2/4,1). Das Wachstum wurde bereits nach sechs Tagen gehemmt und die Pflanzen blieben zurück. Diese unbefriedigende Entwicklung äußerte sich am deutlichsten bei dem Lehm Boden Nr. 7 (Abbildung 1, Seite 67). Während die Salatpflanzen bei den Proben Nr. 8 und Nr. 10 ein gesundes und normales Wachstum der Blätter und eine gute Durchwurzelung zeigten und bis zum 5-Blatt-Stadium gelangten, wurde das Keimblattstadium bei der Probe Nr. 7 kaum überschritten. Die Wurzeln waren sehr kurz und an der Spitze gebräunt.

Hier offenbart sich ein besonderer Nachteil der Salat-Methode, den die NEUBAUER-Methode nicht besitzt. Die Versuchspflanze Roggen ist weigehend unbeeinflusst durch den pH-Wert des Bodens, während die Salatpflanze sehr empfindlich zu reagieren scheint; ein Befund, der den praktischen Verhältnissen des Salatanbaues entspricht.

Die Analysendaten zeigt die Tabelle 16, Seite 68.

Bis auf Boden Nr. 7 ergab sich bei sämtlichen Böden ein Anstieg des Trockenertrages durch die P-Düngung, wobei der Trockengewichtsertrag auf den einzelnen Böden ohne Düngung ein verschiedenes Niveau hatte. Der Trockenmassenertrag auf ungedüngten Böden schwankt zwischen 131mg und 420mg. Der erstgenannte Wert gehört zu dem sehr stark sauren Boden Nr. 7 (Löhlbach), der höhere Wert zum schwach sauren Boden Nr. 10 aus Nigeria. Einen niedrigen Ertrag

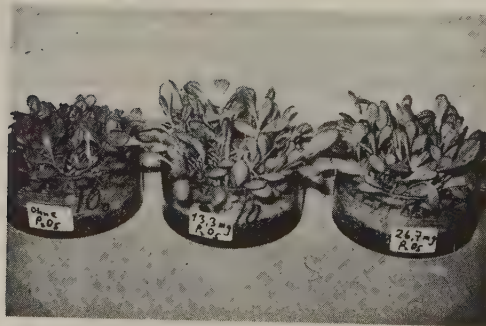
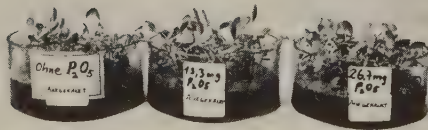
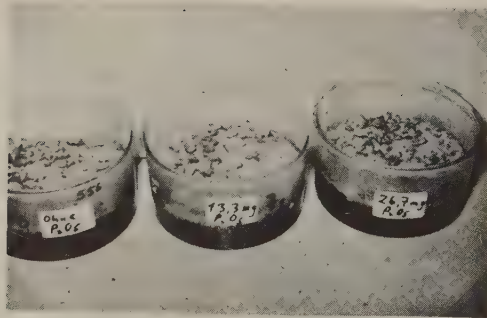


Abbildung 1: Steigende P-Gaben bei Boden Nr. 7 (a) ungekalkt, (b) gekalkt und Boden Nr. 10. Von links nach rechts: 0 - 13,3 - 26,7 mg P₂O₅.

P-AUFNAHME DURCH SALAT BEI VERWENDUNG V. MARKIERTEM SUPERPHOSPHAT

Probe Nr.	Herkunft	KOLORIMETRISCH					RADIOCHEMISCH			
		Trocken- subst.	P-Dgg mg P_2O_5 /100g Bd.	P-Aufn. Dgg.	Paus d. Dgg.	Aus- nutzung v. Dün- ger-P in %	p^{32} Zugabe ipm	p^{32} in Pfl. ipm	Dgg P_2O_5 mg	P^{32} Aufn. in %
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
6	Nigeria	295	0	$\frac{1.54}{\pm 0.35}$						
		385	26.7	$\frac{2.82}{\pm 0.29}$	1.28	4.8	161720	7740	1.30	4.88
		472	53.3	$\frac{4.43}{\pm 0.30}$	2.89	5.4	323440	16750	2.80	5.17
7	BRD	131	0	$\frac{1.33}{\pm 0.25}$						
		132	13.3	$\frac{1.36}{\pm 0.05}$	0.03	0.2	80840	10	—	0.01
		122	26.7	$\frac{1.37}{\pm 0.2}$	0.04	0.1	161720	30	—	0.02
8	BRD	294	0	$\frac{1.73}{\pm 0.08}$						
		426	13.3	$\frac{3.83}{\pm 0.04}$	2.10	15.9	80840	9060	1.49	11.20
		440	26.7	$\frac{5.30}{\pm 0.39}$	3.57	13.4	161720	20090	3.31	12.4
9	Nigeria	169	0	$\frac{1.40}{\pm 0.03}$						
		222	13.3	$\frac{1.72}{\pm 0.10}$	0.32	2.4	80840	1050	0.17	1.3
		310	26.7	$\frac{2.55}{\pm 0.01}$	1.15	4.2	161720	6010	0.99	3.7
10	Nigeria	420	0	$\frac{2.64}{\pm 0.32}$						
		524	13.3	$\frac{6.76}{\pm 0.21}$	4.12	31.0	80840	26110	4.31	32.4
		560	26.7	$\frac{8.97}{\pm 0.13}$	6.33	23.7	161720	44670	7.37	27.6
11	Nigeria	291	0	$\frac{1.76}{\pm 0.15}$						
		331	13.3	$\frac{2.79}{\pm 0.18}$	1.03	7.7	80840	6930	1.14	8.7
		354	26.7	$\frac{3.90}{\pm 0.02}$	2.14	8.0	161720	14380	2.37	9.1
12	Nigeria	207	0	$\frac{1.53}{\pm 0.11}$						
		246	13.3	$\frac{1.98}{\pm 0.10}$	0.45	3.4	80840	3270	0.54	4.1
		268	26.7	$\frac{3.18}{\pm 0.31}$	1.65	6.4	161720	12230	2.02	7.7

TABELLE 16

von 169mg weist ebenfalls der saure Boden Nr. 9 aus Nigeria auf. Damit werden die von EHRENDORFER (1957) gemachten Angaben, daß der Trockenmassenertrag das Fünf- bis Zwölffache des Samengewichtes (75mg) betragen soll, nicht in allen Fällen bestätigt. Es ist aber hervorzuheben, daß es sich bei sämtlichen Versuchsböden um ausgesprochene Phosphatmangelböden handelt. In den P-Düngungsreihen sind bis auf den Boden Nr. 7 die Trocken- gewichte zum Teil stark erhöht und kommen damit an die von EHRENDORFER genannten Werte heran.

Die Ausnutzung der Düngerphosphorsäure (Tabelle 16, Spalte VII und XI, Seite 67a) stimmt in den kolorimetri- schen und radiochemischen Untersuchungen im allgemeinen recht gut überein. Die bei den einzelnen Böden unterschied- liche Ausnutzung wird mit beiden Methoden gleich gut wieder- gegeben. Die prozentische Ausnutzung des Düngerphosphates schwankt innerhalb des gesamten Versuches innerhalb wei- ter Grenzen. Einer Ausnutzung von weniger als 1% bei dem Boden Nr. 7 (Löhlbach) steht eine Ausnutzung von mehr als 30% bei dem Boden Nr. 10 (Benin) gegenüber. Ist die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 gut, wie bei den Böden Nr. 8 und Nr. 10, so wird die hohe P-Gabe schlechter ausgenutzt als die niedrige. Bei schlechter P-Ausnutzung erfährt die hohe P-Gabe noch eine Zunahme der Ausnutzung gegenüber der niedrigen Gabe. Die gute Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 auf den Böden Nr. 8 und Nr. 10 dürfte durch die neutrale bzw. schwach saure Reaktion dieser Böden bedingt sein. Auf solchen Böden wird das wasserlösliche Superphosphat nur langsam in die für die Pflanze schwer aufnehmbare Form überführt. Das Gegenteil ist bei dem stark sauren Boden Löhlbach der Fall, wo praktisch keine Dünger- P_2O_5 aufge- nommen wurde. Aber auch die Bodentextur mag eine Rolle gespielt haben.

Die unbefriedigende Ausnutzung der Superphosphatphos- phorsäure wird insbesondere bei den Böden Nr. 7, 9 und 12 auf die stark saure Reaktion zurückgeführt. Diese mußte sich bei einer Testpflanze, die wie der Salat neutrale Reaktionen liebt, besonders auswirken.

Es erhob sich deshalb die Frage, ob es bei der Salatmethode generell notwendig ist, stark saure Böden aufzukalken, um ein normales Wachstum der Testpflanze zu erhalten.

EHRENDORFER (1957, 1959) arbeitete vorwiegend mit neutralen Böden, der niedrigste pH-Wert bei seinen Versuchen war pH 4,9. Die Nährlösung wird auf pH 6,5 eingestellt.

Aufkalkungsversuch

Aus diesem Grund wurde der Versuch mit markiertem Superphosphat auf diesen Böden Nr. 7, 9 und 12 wiederholt, nachdem die Böden aufgekalkt worden waren und der Kalk eine Woche lang eingewirkt hatte.

Die Ertragswerte für Trockenmasse und Angaben über die P_2O_5 -Aufnahme sind der Tabelle 17, Seite 70, zu entnehmen.

Durch die Aufkalkung wurde auf dem Boden Nr. 7 die Entwicklung der Salatpflanze wesentlich verbessert, (Bild 2, Abb. 1, Seite 67) und auch das Trockengewicht erhöht. Auf den anderen beiden Böden Nr. 9 und 12 aus Nigeria wirkte sich die Aufkalkung eher negativ auf Trockengewicht und Entwicklung der Pflanze aus, vor allen Dingen in den P-Düngungsreihen. Dieser Befund wurde durch einen weiteren Versuch bestätigt, bei dem die Kalkung ebenfalls zu einer verminderten P-Aufnahme führte (Probe Nr. 6, Tabelle 18, Seite 71). Eine Erklärung für diese Ergebnisse ist nicht ohne weiteres zu geben. Sie stimmen aber überein mit Angaben aus dem Schrifttum (HARTLEY, 1968; GREEN, 1954), wo ebenfalls über negative Auswirkungen einer Aufkalkung auf die P-Wirkung berichtet wird. Diese Aufkalkungsversuche zeigen somit, daß bei der Anwendung der Salatmethode es nicht generell zweckmäßig sein dürfte, bei Böden mit niedrigem pH-Wert aufzukalken.

P - AUFNAHME DURCH SALAT MIT UND OHNE AUFKALKUNG

Probe Nr.	Herkunft	MIT AUFKALKUNG								OHNE AUFKALKUNG			
		Trocken- subst. in mg	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100gBd	P aus Dgg	Ausnut- zung von Dünger- in %	p ₃₂ Zugabe ipm	p ₃₂ in Pfl. ipm	Dgg. P ₂ O ₅ mg	p ₃₂ Aufn. in %	Trocken- subst in mg	p ₃₁ Aufn mg P ₂ O ₅	Ausnut- zung v Dgg-p in %	p ₃₂ Aufn in %
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
⑦	BRD	P ₁ 173	1.47 ± 1.10							131	1.33		
L		P ₁ 181	1.55 ± 0.07	0.08	0.6	26230	200	0.10	0.76	132	1.36	0.23	0.01
53/45		P ₂ 197	1.67 ± 0.07	0.20	0.8	52460	370	0.19	0.71	122	1.37	0.12	0.02
(41/40)													
⑨	Nigeria	P ₁ 178	1.53 ± 0.02	0.03						169	1.40		
S		P ₁ 177	1.74 ± 0.02	0.21	1.6	26230	540	0.27	2.1	222	1.72	2.4	1.3
73/66		P ₂ 182	1.98 ± 0.03	0.45	1.7	52460	1300	0.66	2.5	310	2.55	3.1	3.7
(47/38)										207			
⑫	Nigeria	P ₁ 174	1.53 ± 0.02										
S		P ₁ 187	1.87 ± 0.16	0.43	2.6	26230	740	0.38	2.8	246	1.98	3.4	4.1
77/7.1		P ₂ 173	2.16 ± 0.07	0.63	2.4	52460	1670	0.85	3.2	268	3.18	6.4	7.7
(52/41)													

20.2.-13.3.1969

TABELLE 17

Probe Nr.	Herkunft	Rhenania -			Thomas -			Superphosphat			% P - Aufnahme		
		Trocken- subst.	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bd	P aus Düngung /100g Bd	Trocken- subst.	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bd	P aus Düngung /100g Bd	Trocken- subst.	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bd	P aus Düngung /100g Bd	Rh	Th	Super
6*	Nigeria 73/63	222	1.16 ± 0.03		222	1.16 ± 0.03		222	1.16 ± 0.03				
		274	1.68 ± 0.05	0.52	301	1.82 ± 0.09	0.67	301	1.84 ± 0.10	0.69	4.2	5.0	5.2
		315	2.32 ± 0.03	1.16	397	2.42 ± 0.25	1.27	313	2.27 ± 0.15	1.12	4.4	4.7	4.2
7*	BRD 68/63	312	1.31 ± 0.05		312	1.31 ± 0.05		312	1.31 ± 0.05				
		333	1.42 ± 0.08	0.11	329	1.08 ± 0.09	-0.23	274	0.99 ± 0.17	-0.32	0.8	-1.7	-2.4
		335	1.46 ± 0.07	0.15	326	1.51 ± 0.09	0.20	341	1.12 ± 0.14	-0.19	0.56	0.75	-0.7
8	BRD	280	1.45 ± 0.02		280	1.45 ± 0.02		280	1.45 ± 0.02				
		419	4.02 ± 0.54	2.57	288	2.62 ± 0.30	1.17	325	2.82 ± 0.08	1.37	19.3	8.8	10.3
		339	5.73 ± 0.29	4.28	337	3.37 ± 0.29	1.92	330	4.18 ± 0.47	2.73	16.0	7.2	10.2
9*	Nigeria 79/13	293	1.44 ± 0.04		293	1.44 ± 0.04		293	1.44 ± 0.04				
		372	2.63 ± 0.07	1.19	361	2.58 ± 0.39	1.14	367	2.50 ± 0.12	1.06	8.9	8.6	7.9
		403	3.77 ± 0.42	2.33	358	2.98 ± 0.19	1.54	447	4.03 ± 0.41	2.59	8.7	5.8	9.7

* Der Boden wurde aufgekalkt

TABELLE 18

C. Salatversuch mit verschiedenen Phosphatdüngern

Zweck der Anwendung der Salatmethode war, verschiedene chemische Methoden an einer pflanzenphysiologischen Methode zu messen, um so ihre Brauchbarkeit zur Ermittlung der Düngerbedürftigkeit von Böden für P beurteilen zu können.

Die Fragestellung lautete:

1. Welche chemische Extraktionsmethode ergibt bei ungedüngten Böden die beste Übereinstimmung mit der Salatmethode.
2. Welche chemische Extraktionsmethode ergibt bei gedüngten Böden die beste Übereinstimmung mit der Salatmethode
 - a) bei Düngung mit Rhenaniaphosphat
 - b) bei Düngung mit Thomasphosphat
 - c) bei Düngung mit Superphosphat ?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden auf 19 bzw. 24 Böden, außer den bereits erwähnten Umsetzungsversuchen ohne Pflanzen, Salatversuche angelegt, und zwar sowohl auf den ungedüngten als auch auf den mit verschiedenen Phosphatdüngemitteln gedüngten Böden. Die Versuchsanstellung war dieselbe wie die im mehr orientierenden Versuch mit markiertem Superphosphat: Düngung mit 0, 13,3 und 26,7 $P_2O_5/100g$ Boden.

Die Böden Nr. 6 und 7 wurden mit 240mg bzw. 600 mg $CaCO_3$ DAB 6 aufgekalkt. Jede Variante wurde mit 3 Parallelen angelegt. Bei drei Düngemitteln und variierter P-Düngung wurden somit für jeden Boden 21 Neubauerschalen benötigt. Aus versuchstechnischen Gründen war es nicht möglich, jeweils gleichzeitig mehr als 3 Böden, d.h. 63 Neubauerschalen, zu untersuchen.

Versuchsergebnisse

Böden Nr. 6, 7 und 8 (19.5. - 9.6.1969)

Vegetationsbeobachtungen:

Nr. 6: 1P pH 4,6

Deutliche P-Wirkung gegenüber der O-Reihe. Besseres Wachstum bei der hohen (26,7mg) als bei der niedrigen (13,5mg) P-Gabe. Rein visuell zeigten in der niedrigen und der hohen P-Gabe die Pflanzen mit Rhenaniaphosphat gegenüber den beiden anderen Düngern eine gewisse Überlegenheit, die im Trockenерtrag und in der P-Aufnahme aber nicht mehr in Erscheinung trat (Abbildung 2a, Seite 74).

Nr. 7: L pH 4,0

Trotz der Aufkalkung war die P-Wirkung sehr schlecht. Die P-Steigerung zeigte keine Wirkung. Der Trockenерtrag war bei allen Düngungsstufen, mit und ohne P, praktisch gleich. Allerdings konnte bei der Ernte der Pflanzen eine Förderung der Wurzelentwicklung durch die P-Düngung beobachtet werden. Keine wesentlichen Unterschiede zwischen den geprüften P-Düngern; geringfügige Überlegenheit der Rhenaniareihe (Abbildung 2a, Seite 74).

Nr. 8: sL pH 7,0

Sehr deutliche P-Wirkung gegenüber "ohne-P". Große Blattmaße sowohl bei niedriger als auch bei hoher P-Gabe. Günstige P-Wirkung bei Rhenaniaphosphat, Superphosphat und Thomaphosphat ohne sicheren Unterschied (Abbildung 2a, Seite 74).

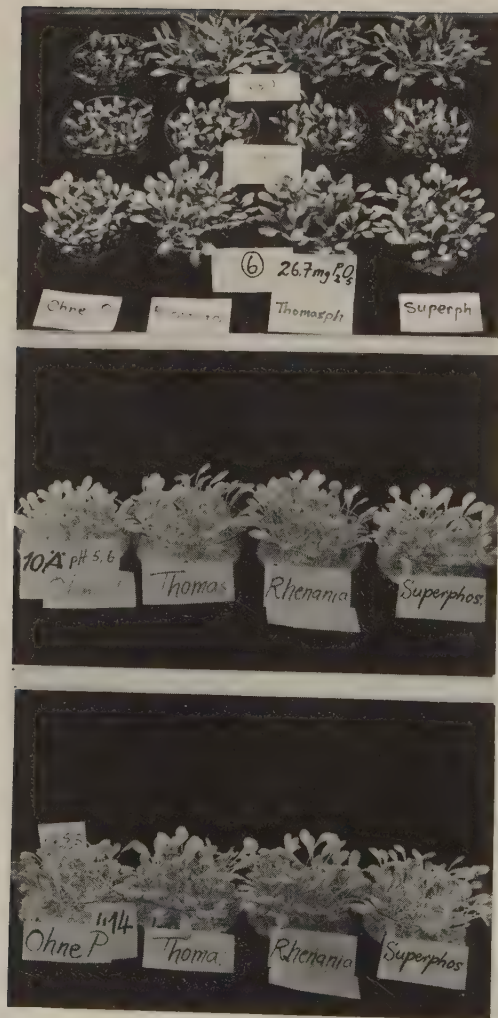


Abbildung 2: P-Wirkung verschiedener Phosphatdünger

- a) Böden Nr. 6, 7 und 8 (26,7 mg P₂O₅)
- b) Boden Nr. 20 (13,3 mg P₂O₅)
- c) Boden Nr. 22 (13,3 mg P₂O₅)

Vegetationsbeobachtungen:

Proben Nr. 9, 10, 11 und 12 am 19. Wachstumstag (16.6.-7.7.69).

Nr. 9: S pH 3,8

Unterschiede zwischen den verschiedenen Phosphatdüngern bei den hohen P-Gaben deutlich. Rhenaniaphosphatreihe zeigt günstige Entwicklung. Thomasphosphat fällt bei der höheren P-Gabe deutlicher ab als bei der niedrigen.

Nr. 10: S pH 5,3

Insgesamt starke P-Wirkung. Wegen des überall sehr üppigen Wachstums Unterschiede schwierig zu beurteilen. Hauptwirkung bereits bei der niedrigen Gabe.

Nr. 11: S pH 4,6

Bei der hohen P-Gabe ist die Rhenaniaphosphatreihe am kräftigsten. Die Superphosphatreihe ist etwas schwach, besonders bei der einfachen P-Gabe. Das Thomasphosphat nimmt eine Mittelstellung ein.

Nr. 12: S pH 4,1

Durch hohe P-Gabe (26,7 mg P_2O_5) deutliche P-Wirkung gegenüber "O-Reihe". Stärkste Massenbildung bei Rhenaniaphosphat, danach folgt das Thomasphosphat. Superphosphat bleibt deutlich zurück.

Bei fast allen Böden führte die Düngung mit Rhenania-, Thomas- und Superphosphat zu einer Zunahme des Ertrages, jedoch war die Gewichtszunahme der Salatpflanzen unterschiedlich stark. Eine besonders deutliche Zunahme erfuhr der Ertrag an Salatpflanzen auf den Böden Nr. 9, 10, 11 und 12 (Tabelle 18 und 19, Seite 71 und Seite 76). Zwischen den verschiedenen Düngemitteln bestanden auf einzelnen Böden gewisse Unterschiede, die nicht verallgemeinert werden können. Für alle fünf nigerianischen Böden ergaben sich folgende relative Werte für den Ertrag an Salatpflanzen, bezogen auf "ungedüngt" = 100.

P - AUFNAHME DURCH SALAT - TESTPFLANZE

Probe Nr.	Herkunft	RHENANIA -			THOMAS -			SUPERPHOSPHAT			% P - AUFNAHME		
		Trocken- substanz mg	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bdt.	Paus d. Düngung /100g Bdt.	Trocken- substanz mg	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bdt.	Paus d. Düngung /100g Bdt.	Trocken- substanz mg	P-Aufn. mg P ₂ O ₅ /100g Bdt.	Paus d. Düngung /100g Bdt.	Ausnutzung von Dünger-P in %	Rh	Th Super
10	Nigeria	P ₀ 375	± 2.21 ± 0.14		375	2.21 ± 0.14		350	2.21 ± 0.14				
		P ₁ 494	± 6.72 ± 0.29	4.51	531	6.19 ± 0.34	3.98	509	7.03 ± 0.25	4.82	33.9	29.9	36.2
		P ₂ 580	± 10.17 ± 0.48	7.96	530	7.18 ± 0.51	4.97	529	9.79 ± 0.27	7.58	29.8	18.6	28.4
		P ₃ 350	± 1.53 ± 0.10		350	1.53 ± 0.10		350	1.53 ± 0.16				
11	Nigeria	P ₁ 402	± 3.20 ± 0.41	1.67	443	3.25 ± 0.31	1.72	424	3.23 ± 0.21	1.70	12.5	12.9	12.8
		P ₂ 480	± 4.65 ± 1.00	3.12	454	4.33 ± 0.44	2.80	463	4.36 ± 0.23	2.83	11.7	10.5	10.6
		P ₀ 321	± 1.44 ± 0.09		321	1.44 ± 0.09		321	1.44 ± 0.09				
		P ₁ 415	± 2.66 ± 0.14	1.22	423	2.59 ± 0.18	1.15	395	2.57 ± 0.10	1.13	9.3	8.7	8.5
12	Nigeria	P ₀ 290	± 1.43 ± 0.06		290	1.43 ± 0.06		290	1.43 ± 0.06				
		P ₂ 661	± 7.43 ± 0.95	6.00	601	6.32 ± 0.09	4.90	368	5.35 ± 0.27	3.93	22.5	18.4	14.7

TABELLE 19

Düngungsstufe	I	II
Rhenania-	121	159
Thomas-	152	155
Superphos- phat	129	138

Der niedrige Wert bei der hohen Superphosphatgabe wird zum Teil verursacht durch einen geringen Mehrertrag durch die hohe Gabe Superphosphat auf Boden Nr. 12, der von Hause aus stark sauer ist und auf dem das Superphosphat sehr wahrscheinlich nicht zu einer Verbesserung der Bodenreaktion beigetragen hat.

Es ist aber hervorzuheben, daß die Trockengewichte an Salat nicht unbedingt mit dem P-Entzug bzw. der P-Ausnutzung parallel gehen.

Die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 durch die Salatpflanze auf den nigerianischen Böden schwankte innerhalb weiter Grenzen, von 8% auf Boden Nr. 6 (Tabelle 19, Seite 76) bis zu mehr als 30% bei Boden Nr. 10. Bei dem Boden Nr. 6 handelt es sich, wie bereits erwähnt, um einen schluffigen, sauren Tonboden, der auch im Salatversuch mit markiertem Superphosphat eine ähnlich niedrige Ausnutzung (5% bei höherer Gabe) erkennen ließ. Eine ähnlich niedrige P-Ausnutzung wie bei dem Boden Nr. 6 war auch bei Boden Nr. 9 anzutreffen, der sich ebenfalls durch eine stark saure Reaktion auszeichnet. Die weitaus günstigste P-Ausnutzung ergab sich auf Boden Nr. 10, der, wie aus Tabelle 2 hervorgeht, eine sehr niedrige P-Sorption besitzt. Ein Versuch, auf Boden Nr. 6 die Ausnutzung der Düngerphosphorsäure durch Aufkalkung zu verbessern, führte nicht zu dem erhofften Erfolg. Im Gegenteil, die Aufkalkung führte zu niedrigen Ertragswerten und zu einer geringeren Ausnutzung der Phosphorsäure bei sämtlichen drei Phosphatdüngern (Tabelle 18, Seite 71).

Ausnutzung der verschiedenen Düngemittel

Von einer etwa gleichen Ausnutzung der drei Düngerphosphate kann auf den Böden Nr. 6, 9 und 11 gesprochen werden. Deutliche Unterschiede bestehen auf dem Boden Nr. 12, wo die Ausnutzung des Rhenaniaphosphates wesentlich günstiger verläuft als die des Superphosphates. Anders liegen die Verhältnisse auf Boden Nr. 10, wo eine bevorzugte Aufnahme von Rhenania- und Superphosphat gegenüber Thomasphosphat festzustellen ist.

Setzt man im Mittel der fünf nigerianischen Böden die Ausnutzung der Rhenaniaphosphat- P_2O_5 gleich 100, so ergeben sich für Thomas- und Superphosphat die folgenden relativen Zahlen: Rh : Th : Super = 100 : 97 : 96 bzw. 100 : 80 : 99 bei höheren Gaben.

Wie von Phosphatsteigerungen bekannt, ergab sich auch hier für die höhere P-Gabe eine niedrigere absolute prozentische Ausnutzung (vergl. Boden Nr. 6, 8, 10 und 11). Die niedrigste P-Ausnutzung von sämtlichen geprüften Böden war erstaunlicherweise auf dem deutschen Boden Nr. 7 aus Löhlbach vorhanden. Der neutrale sandige Lehm Boden aus Klein-Linden zeigte dagegen eine P-Ausnutzung in der gleichen Höhe, wie sie bei der Mehrzahl der nigerianischen Böden angetroffen wurde.

2 Vegetationsbeobachtungen

Böden Nr. 13 - 16, 26 und 27 am 19. Wachstumstag.
11.8.-1.9.1969.

Von diesen Böden standen nur geringe Mengen zur Verfügung, so daß auf eine P-Steigerung verzichtet werden mußte. Bis auf Boden Nr. 15, der mit 26,7 mg P_2O_5 gedüngt wurde, erhielten alle Böden die niedrige P-Gabe von 13,3 mg P_2O_5 /100 g Boden.

Nr. 13: sL pH 5,2

Deutliche P-Wirkung. Entwicklung der Pflanzen normal. Gute Wurzelbildung. Rein visuell geringfügige Überlegenheit der Rhenaniareihe.

Nr. 14: sL pH 5,5

P-Wirkung gegenüber "O-Reihe" deutlich. Bessere Bodenbedeckung als in Boden Nr. 13, aber insgesamt weniger üppig. Alle Phosphatdünger zeigen ähnliche Wirkung.

Nr. 15: uL pH 6,2

Sehr üppiges Wachstum; bis zum 5-Blatt-Stadium, auch in der "O-Reihe". Ausgezeichnete P-Wirkung durch erhöhte P-Gabe, (26,7 mg P_2O_5). Stärkste Massenbildung bei der Superphosphatreihe; Thomasphosphat deutlich zurück, Rhenaniaphosphat etwa in der Mitte.

Nr. 16: sL pH 4,1

Sehr geringe Bodenbedeckung. Allgemein niedrige Ertragsbildung im Vergleich mit den anderen Böden, wahrscheinlich zurückzuführen auf den für Salat zu niedrigen pH-Wert.

Die Superphosphatreihe ebenso schlecht wie die O-Reihe, dichter Pflanzenbestand bei Rhenaniaphosphat. Etwa in der Mitte liegt Thomasphosphat.

Nr. 26: sL pH 4,5

Zufriedenstellende Entwicklung, P-Wirkung gegenüber der O-Reihe sichtbar. Rhenania- und Thomasphosphat etwa mit gleicher Wirkung. Superphosphatreihe etwas schwächer.

Nr. 27: tL pH 5,2

Sichere P-Wirkung aller Düngemittel. Pflanzen etwas üppiger als bei Boden Nr. 26. Thomasphosphat fällt gegenüber Rhenania- und Superphosphat ab.

Die Analysenergebnisse der Salatversuche auf den Böden aus Ghana, Liberia, Kongo und Tansania sind in Tabelle 20, Seite 81, zusammengestellt.

Alle drei Böden aus den Savannengebieten der Accra-plaines Ghanas zeigen eine deutliche Erhöhung des Trockenertrages durch die P-Düngung, insbesondere auf Boden Nr. 15, wo die doppelte P-Gabe verabreicht wurde. Auf den Böden Nr. 13 und Nr. 14 war der Salatmehrertrag relativ gering. Der hohe Trockenertrag an Salat auf dem ungedüngten Boden Nr. 15 läßt bereits auf eine günstige P-Versorgung dieses Bodens schließen, wie es auch die Ergebnisse der chemischen Extraktionsmethode zu erkennen gaben (Tabelle 4, Seite 21). Auf diesem Boden ergibt sich eine bessere Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 (bei allen drei Düngemitteln) als bei den Böden Nr. 13 und 14, die eine niedrige P-Gabe erhalten hatten. Der Boden Nr. 15 kann sowohl hinsichtlich seines P-Vorrates als auch im Hinblick auf seine Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 als günstig beurteilt werden. Aber auch auf den beiden anderen Böden Nr. 13 und 14 ist, vor allem in Hinblick auf ihre saure Reaktion, die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 als günstig und befriedigend anzusehen. Sie liegt im Mittel ähnlich hoch wie der Durchschnitt der nigerianischen Böden. Die mittleren relativen Zahlen für die Düngerausnutzung (Rhenaniaphosphat = 100) sind die folgenden: Rh : Th : Super = 100 : 78 : 93, wobei das Superphosphat auf dem Boden Nr. 15 (pH 6,2) die bessere Leistung aufwies.

P-AUFNAHME DURCH DIE SALATTESTPFLANZE.

Probe Nr.	Herkunft	RHENANIA -			THOMAS -			SUPERPHOSPHAT			% P-AUFNAHME		
		Trocken- substanz	P-Aufn.	P aus d Düngung	Trocken- substanz	P-Aufn.	P aus d Düngung	Trocken- substanz	P-Aufn.	P aus d Düngung	Rh	Th	Super
		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.				
13	Ghana I	P ₀	281	1.43	281	1.43		281	1.43				
			± 0.03			± 0.03			± 0.03				
		P ₁	369	3.19	364	2.63	1.200	369	2.89	1.46	13.2	9.0	10.9
14	Ghana II		± 0.33			± 0.10			± 0.08				
		P ₀	249	1.62	249	1.62		249	1.62				
			± 0.06			± 0.06			± 0.06				
15	Ghana III	P ₁	293	3.19	294	3.04	1.420	290	2.97	1.35	11.7	10.6	10.1
			± 0.11			± 0.08			± 0.13				
		P ₀	420	2.26	420	2.26		420	2.26				
16	Libaria		± 0.04			± 0.04			± 0.04				
		* P ₁	589	6.71	566	5.58	3.32	602	7.14	4.88	16.7	12.5	18.3
			± 0.30			± 0.18			± 0.57				
26	Kongo	P ₀	227	1.23	227	1.23		227	1.23				
			± 0.03			± 0.03			± 0.03				
		P ₁	280	1.86	255	1.91	0.680	255	1.64	0.41	4.8	5.2	3.1
27	Tansania		± 0.08			± 0.02			± 0.08				
		P ₀	293	1.57	293	1.57		293	1.57				
			± 0.08			± 0.08			± 0.08				
27	Tansania	P ₁	385	3.26	395	2.96	1.390	336	2.73	1.26	12.7	10.5	9.4
			± 0.04			± 0.20			± 0.15				
		P ₀	283	1.35	283	1.35		283	1.35				
27	Tansania		± 0.05			± 0.05			± 0.05				
		P ₁	352	2.87	369	2.73	1.380	355	2.92	1.57	11.4	10.4	11.8
			± 0.08			± 0.27			± 0.12				

* P = 26.7mg P₂O₅ / 100g Boden

11.8 - 1.9 1969

TABELLE 20

Eine deutliche Überlegenheit des Rhenaniaphosphates ergibt sich bei den Böden aus Ghana gegenüber einer nur leichteren Überlegenheit des Rhenaniaphosphates bei den nigerianischen Böden:

(Rh : Th : Super = 100 : 90 : 97)

In beiden Fällen blieb das Thomasphosphat deutlich zurück.

Der stark saure sandige Lehm Boden Nr. 16, ein typischer Latosol aus den Küstengebieten Liberias, zeigte zwar eine sichere Erhöhung der Salattrockenmasse durch die P-Düngung, die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 war aber gering (3%-5%) und, wie auf diesem stark sauren Boden zu erwarten war, bei Rhenania- und Thomasphosphat etwas besser als bei Superphosphat.

Bei den drei geprüften Düngemitteln reagierte der saure sandige Lehm Boden aus dem Kongo im Salatertrag deutlich auf die P-Düngung. Die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 ergab ähnliche Werte wie die ghanaesischen Böden bei einer ebenfalls deutlichen Überlegenheit des Rhenaniaphosphates gegenüber Thomasphosphat und Superphosphat (Rh : Th : Super = 100 : 83 : 74).

Auf dem sauren lehmigen Latosol aus Tansania erfuhr der Salatertrag durch die P-Düngung ebenfalls eine deutliche Zunahme von etwa 25%. Die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 war eine ähnliche wie bei dem Boden aus dem Kongo und denen aus Ghana. Die Ausnutzung der einzelnen Phosphatdüngemittel war annähernd die gleiche (~11%).

3. Vegetationsbeobachtungen

Proben Nr. 17, 18, 20, 21, 22; (3.11.-24.11.69)

Sämtliche Proben aus Äthiopien wurden gleichzeitig angesetzt, die O-Reihe wurde mit 25 uCi ^{32}P (trägerfrei) markiert.

Nr. 17: uL pH 5,1

Überdurchschnittliches Wachstum. P-Wirkung deutlich. Die Pflanzen erreichen das volle 5-Blatt-Stadium

auch in der O-Reihe. Die Thomasphosphatreihe erscheint schwächer als die Rhenaniareihe.

Nr. 18: tL pH 5,0

5. Blatt kaum entwickelt. In der O-Reihe nur 4-Blatt-Stadium. Rhenaniareihe mit besserer P-Wirkung als die Superphosphatreihe. Thomasphosphat am schwächsten. Gesamtentwicklung (Bildung von Frischmasse) bei Nr. 18 stark hinter Boden Nr. 17 zurückbleibend.

Nr. 20: uT pH 5,6

Starke P-Wirkung. Üppiges Wachstum, bis zum vollentwickelten 5. Blatt. "O-Reihe" nur 4-Blatt-Stadium. Rhenaniaphosphat dem Superphosphat wenig überlegen. Thomasphosphat geringfügig schwächer als Superphosphat (Abbildung 2b, Seite 74).

Nr. 21: uL pH 4,5

P-Wirkung aller Düngemittel deutlich. Gedüngte Reihen weisen zwar vollständigere Bodenbedeckung auf, aber gleiche niedrige Pflanzenhöhe wie in der ungedüngten Reihe. Unterschiede zwischen einzelnen P-Düngern wenig deutlich.

Nr. 22: uT pH 5,3

Wie bei Boden Nr. 20 sehr gute P-Wirkung, üppiges Wachstum. Auch die "O-Reihe" bis zum 5. Blatt vollentwickelt. Auffallend gute Wurzelbildung. Keine sicheren Unterschiede zwischen den einzelnen P-Düngern (Abbildung 2c, S. 74).

In Tabelle 21, Seite 84, sind die Ergebnisse der Salatversuche aus Äthiopien zusammengestellt.

Im Durchschnitt liegt der Trockensubstanzertrag an Salat in den ungedüngten Reihen mit 320mg unter dem von EHRENDORFER (1957) angegebenen Wert von etwa dem 5-12 fachen des Samengewichtes. Die Trockenmasseerhöhung durch die P-Düngung war bei den einzelnen Böden und Phosphatdüngern unterschiedlich. Sie betrug 0-35%, im Durchschnitt etwa 10%.

P-AUFNAHME DURCH DIE SALATTESTPFLANZE

Probe Nr.	Herkunft	RHENANIA -				THOMAS -				SUPERPHOSPHAT			% P-AUFNAHME		
		Trocken- substanz	P-Aufn.	Paus d. Düngung	Trocken- substanz	P-Aufn.	Paus d. Düngung	Trocken- substanz	P-Aufn.	Paus d. Düngung	Rh	Th	Ausnutzung v Dünger - P in %		Super
		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.		mg	mg P ₂ O ₅ /100g Bd.						
17	ÄTHIOPIEN I	P ₀	358	2.89 ± 0.05				358	2.89 ± 0.09						
		P ₁	396	3.29 ± 0.19	0.40			353	3.22 ± 0.12	0.33	3.1	1.9		2.5	
18	ÄTHIOPIEN II	P ₀	312	1.47 ± 0.03				312	1.47 ± 0.03						
		P ₁	351	2.16 ± 0.08	0.69			348	2.07 ± 0.16	0.60	5.2	4.5		5.2	
20	ÄTHIOPIEN IV	P ₀	332	1.60 ± 0.05				332	1.60 ± 0.05						
		P ₁	403	3.58 ± 0.13	1.98			358	3.05 ± 0.02	1.45					
21	ÄTHIOPIEN V	P ₀	291	1.50 ± 0.04				291	1.50 ± 0.04						
		P ₁	321	2.13 ± 0.05	0.63			307	2.12 ± 0.21	0.62	4.7	5.7		4.7	
22	ÄTHIOPIEN VI	P ₀	313	2.51 ± 0.15				313	2.51 ± 0.15						
		P ₁	424	4.69 ± 0.13	2.18			405	4.27 ± 0.09	1.76	16.4	10.3		13.2	

TABELLE 21

Im einzelnen stand einer leichten Ertragszunahme von etwa 10% bei Rhenaniaphosphat und Thomasphosphat und 5-9% bei Superphosphat auf den Böden Nr. 17, 18 und 21 eine mehrfach höhere Trockenenertragszunahme von 20-35% auf den Böden Nr. 20 und 22 gegenüber.

Die Böden Nr. 18 und 21 enthalten von Hause aus relativ wenig pflanzenaufnehmbare P_2O_5 , während die Proben Nr. 20 und 22 einen hohen P-Versorgungsgrad aufweisen (Tabelle 22, Seite 86). Für diese äthiopischen Böden ergibt sich im Durchschnitt folgendes relatives Verhältnis für den Ertrag an Salat bezogen auf "ungedüngt" = 100:

Rhenaniaphosphat	118
Thomasphosphat	113
Superphosphat	113

wobei die Erträge der Böden Nr. 20 und 22 maßgebend waren für den relativ hohen Wert für Superphosphat. Diese fünf äthiopischen Böden gliedern sich hinsichtlich der Ausnutzung der Düngerphosphorsäure scharf in zwei Gruppen: Die eine mit einer Ausnutzung der Düngerphosphorsäure von 2-6% (Böden Nr. 17, 18 und 21), die andere mit 10-16% (Böden Nr. 20 und 22). Diese Ergebnisse stimmen gut überein mit den für diese Böden ermittelten P-Sorptionswerten (Tabelle 2, Seite 18). Die Böden Nr. 17 und 18 weisen 71% bzw. 92% P-Sorption auf, während die Böden Nr. 20 und 22 sogar etwas Phosphat in die Schüttellösung abgeben.

Obwohl der Boden Nr. 17 von Hause aus über den höchsten Gehalt an pflanzenverfügbarem P_2O_5 verfügt (siehe O-Reihe, Tabelle 21 und 22, Seite 84 und 86), ist die P-Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 sehr gering (2-3%).

Die Böden Nr. 18 und 21 sind typische rote Latosole mit saurer Bodenreaktion. Die günstigen Eigenschaften der schwarzerdeähnlichen tropischen Böden hingegen lassen sich auch im Hinblick auf Nährstoffhaushalt und Nährstoffverfügbarkeit durch diese Salatversuche bei den Böden Nr. 20 und 22 (Grumusol) erkennen.

P-AUFNAHME DURCH SALAT AUF UNGEDÜNGTEN BÖDEN

Probe Nr.	Herkunft	Trocken- subst. mg	P-Aufnahme mg P ₂ O ₅ /100g Bd		Probe Nr.	Herkunft	Trocken- subst. mg	P-Aufnahme mg P ₂ O ₅ /100g Bd	
			gesamt	abzügl. Samen-P				gesamt	abzügl. Samen-P
Quarz- Sand	Hirschau Oberpfalz	246	1.48 ± 0.02		11	Nigeria 4.6	350	1.53 ± 0.10	0.05
1	Nigeria IS 6.0	311	1.54 ± 0.04	0.06	12	Nigeria S 4.1	207	1.53 ± 0.11	0.05
5	Nigeria sL 4.5	291	1.65 ± 0.04	0.17	12* 7.7/7.1	Nigeria	174	1.53 ± 0.02	0.05
6	Nigeria IT 4.6	295	1.54 ± 0.35	0.06	12	Nigeria 4.1	290	1.43 ± 0.06	-0.05
6* 7.3/6.3	Nigeria	222	1.16 ± 0.03	-0.32	13	Ghana I sL 5.2	281	1.43 ± 0.03	-0.05
6	Nigeria 4.6	321	1.44 ± 0.09	-0.04	14	Ghana II sL 5.5	249	1.63 ± 0.06	0.15
7	BRD L 4.0	131	1.33 ± 0.25	-0.15	15	Ghana III uL 6.2	420	2.26 ± 0.04	0.78
7* 5.3/4.5	BRD	173	1.47 ± 0.10	-0.01	16	Liberia sL 4.1	227	1.23 ± 0.03	-0.25
7* 6.8/6.3	BRD	312	1.31 ± 0.05	-0.17	17	Äthiop. I uL 5.1	358	2.89 ± 0.05	1.41
8	BRD sL 7.0	294	1.73 ± 0.08	0.25	18	Äthiop. II tL 5.0	312	1.47 ± 0.03	-0.01
8	BRD	280	1.45 ± 0.02	-0.03	19	Äthiop. III tL 4.8	314	1.65 ± 0.06	0.17
9	Nigeria S 3.8	169	1.40 ± 0.03	-0.08	20	Äthiop. IV uT 5.6	332	1.60 ± 0.05	0.12
9* 7.3/6.6	Nigeria	178	1.53 ± 0.02	0.05	21	Äthiop. V uL 4.5	291	1.50 ± 0.04	0.02
9* 7.9/7.3	Nigeria	293	1.44 ± 0.04	-0.04	22	Äthiop. VI uT 5.3	313	2.51 ± 0.15	1.03
10	Nigeria S 5.3	420	2.64 ± 0.32	1.16	26	Kongo sL 4.5	293	1.57 ± 0.08	0.09
10	Nigeria S 5.3	375	2.21 ± 0.14	0.73	27	Tansania tL 5.2	283	1.35 ± 0.05	-0.13
11	Nigeria S 4.6	291	1.76 ± 0.15	0.28					

TABELLE 22

* Der Boden wurde aufgekalkt

Somit ergab sich auf den sauren Latosolen eine geringe P-Ausnutzung sämtlicher geprüfter Phosphatdünger gegenüber einer weitaus günstigeren P-Ausnutzung bei den schwarzerde-ähnlichen tropischen Böden. In den sauren phosphatsorbierenden Böden Nr. 17, 18 und 21 war die prozentuale Ausnutzung der geprüften P-Dünger sehr ähnlich (bei dem gleichen Boden nur um etwa 1% Schwankung, ohne eine gesicherte Überlegenheit eines der Düngermittel).

Die Reihenfolge war Rh > Super > Thomas im Verhältnis 100 : 94 : 90. Auf den Böden Nr. 20 und 22 dagegen blieb das Thomasphosphat stark hinter Rhenania- und Superphosphat zurück.

Setzt man im Durchschnitt aller untersuchten äthiopischen Böden das Rhenaniaphosphat gleich Hundert, so ergibt sich folgende Relation: Rh : Th : Super = 100 : 92 : 81.

Die Ausnutzung der Düngerphosphorsäure auf den beiden Böden Nr. 20 und 22 ist ähnlich der auf den Böden Nr. 13 aus Ghana, Nr. 11 und Nr. 12 aus Nigeria, aber alle diese Böden liegen noch wesentlich hinter der P-Ausnutzung auf dem nigerianischen Boden Nr. 10 zurück.

In der Tabelle 22, Seite 86, sind die Werte für Trockensubstanzbildung und P-Aufnahme durch Salat und Quarzsand (Blindprobe) sowie der sämtlichen ungedüngten Böden zusammengestellt. Der P-Gehalt der Blindproben stimmt sehr gut mit dem eingangs ermittelten P-Gehalt der Samen (1,5mg P_2O_5) überein. Der Sand war somit frei von P und vermochte dem Samen auch keinen Phosphor adsorptiv zu entziehen. Diese Feststellung bestätigt die Angaben EHRENDORFERS (1957).

Durch die ersten orientierenden Versuche sowie die Aufkalkungsversuche ergaben sich für manche Böden mehrfache Untersuchungen zu verschiedenen Zeitpunkten. Hierbei ergaben sich auf demselben Boden jeweils sehr gut übereinstimmende Werte. Die Abweichungen der einzelnen Untersuchungen betrugen stets weniger als 0,4mg P_2O_5 . Dieser Befund spricht für die Zuverlässigkeit und gute Reproduzierbarkeit der Methode.

Auf den ungedüngten Böden Nr. 23, 24 und 25 aus Malawi konnte die pflanzenverfügbare P_2O_5 nicht ermittelt werden, da die zur Verfügung stehende Bodenmenge zu gering war. Entsprechende Salatversuche wurden zwar angelegt, konnten aber wegen ungleichmäßiger Entwicklung der eingepflanzten Salatkeimlinge, - zurückzuführen auf die Verwendung alten Saatgutes - nicht ausgewertet werden. Bei diesen drei Böden fand eine normale Entwicklung der Salatpflanzen nur in einem später angelegten Versuch bei Superphosphatdüngung statt (Tabelle 23).

TABELLE 23 Salatversuch mit Superphosphat
 (13,3mg P_2O_5 /100g Boden)

Probe Nr.	Herkunft	Trockensubstanz mg	P-Aufnahme mg P_2O_5 /100g B.
23	Malawi I	524	7,23
24	Malawi II	463	3,75
25	Malawi III	499	4,93

In diesem Zusammenhang sei auf die Notwendigkeit einer gründlichen Prüfung des Salatsamens hingewiesen. Vor Beginn eines jeden Salatversuches ist es erforderlich, eine größere Zahl von Samen keimen zu lassen und nach der Aussaat ihre Entwicklung eine Woche lang zu beobachten. Zeigt sich hierbei eine verzögerte Keimung und eine ungleichmäßige Entwicklung der einzelnen Keimlinge, so sollte dieses Saatgut nicht verwendet werden.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Salatversuche

Die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 durch die Salatpflanze ergab zum Teil deutliche Unterschiede für die einzelnen Düngermittel. Diese Unterschiede waren auf stark sauren Böden und auf den P_2O_5 stark festlegenden Böden gering.

Hier war die Ausnutzung für sämtliche drei Düngemittel etwa gleich und betrug 2 - 5 %.

Bei den übrigen Böden mit höherer P-Ausnutzung zeichnete sich jedoch ein Unterschied zwischen den einzelnen Phosphatdüngern ab. Auf der Mehrzahl der Böden erfuhr das Rhenaniaphosphat die höchste Ausnutzung. Danach folgte, im allgemeinen mit etwas geringerer Ausnutzung, das Superphosphat und auf fast allen Böden erhielt das Thomasphosphat die niedrigsten Ausnutzungswerte. So ergeben sich für die verschiedenen Bodenherkünfte folgende relative Zahlen für die Ausnutzung des Düngerphosphates:

alle 5 Böden aus Nigeria,

unter Berücksichtigung	Rh	Super	Th
beider Düngergaben:	100	97	90

alle drei Böden aus

Ghana	:	100	93	78
-------	---	-----	----	----

alle fünf Böden aus

Äthiopien	:	100	92	81
-----------	---	-----	----	----

ein Boden aus

Liberia	:	100	65	108
---------	---	-----	----	-----

ein Boden aus dem

Kongo	:	100	74	83
-------	---	-----	----	----

ein Boden aus

Tansania	:	100	92	81
----------	---	-----	----	----

Fast man alle im Salatversuch untersuchten Böden zusammen, so ergeben sich folgende Ausnutzungswerte:

Rh : Super : Th = 100 : 93 : 87.

Es muß jedoch betont werden, daß diese unterschiedlichen Ausnutzungswerte im Versuch mit Salat ermittelt wurden und deshalb nur bedingt verallgemeinert werden können. Es ist aber durchaus möglich, daß ähnliche Relationen auch bei Kulturen mit länger dauernder Vegetationszeit Gültigkeit

haben, denn die an Salat gefundenen eigenen Ergebnisse finden Unterstützung durch andere Berichte in der Literatur über die vorzügliche Düngerwirkung von silikathaltigen Glühphosphaten, besonders Rhenaniaphosphat, auf sesquioxidreichen, tropischen, P-fixierenden Böden (ZELLER, 1930 in Kamerun; DAVIES, 1949 in Uganda; JONES, 1959 in Kenya; FASSBENDER, 1967 in Costa Rica und WERNER, 1969).

5 Eignung der Salatmethode zur Charakterisierung des P-Zustandes tropischer Böden.

1. Die Anwendbarkeit der Salatmethode konnte auf einer Reihe von afrikanischen Böden gezeigt werden. Sowohl die Phosphataufnahme als auch im geringen Maß die Ertragswerte der Salatpflanze scheinen gut geeignet zu sein, um den P-Versorgungsgrad der einzelnen Böden zu charakterisieren.
2. Auf sämtlichen untersuchten Böden führte eine P-Düngung zu einer Zunahme des Trockenenertrages an Salat.
3. Mehrfache Wiederholungen zu verschiedenen Zeitpunkten zeigten gute Übereinstimmung. Die Reproduzierbarkeit der Methode kann im Hinblick auf die P-Aufnahme als sehr gut bezeichnet werden, weniger gut hinsichtlich des Ertrages an Trockenmasse, der bei der Beurteilung der P-Verfügbarkeit aber nur eine sekundäre Rolle spielt.
4. Ein gewisser Nachteil der Methode scheint in der Empfindlichkeit der Salatpflanze gegenüber einer stark sauren Bodenreaktion zu liegen. Bei pH-Wert unter 4,5 ist die Entwicklung der Salatpflanze unbefriedigend. Es scheint aber so, als ob die P-Aufnahme hierbei nicht nennenswert beeinträchtigt wird, wie insbesondere die Versuchsreihen mit Phosphatdüngung erkennen lassen.
5. Es fragt sich, ob es zulässig ist, eine Aufkalkung vorzunehmen, um erst danach pflanzenverfügbare P_2O_5 im Salatversuch zu ermitteln. An einigen stark sauren Böden

zeigte es sich, daß nach Aufkalkung zwar die Pflanzen ein normaleres Wachstum und etwas höheres Trockengewicht aufwiesen, daß aber die P-Aufnahme eher erniedrigt als erhöht wurde.

6. Auf sehr P-armen Böden und solchen mit hoher Sorptionsfähigkeit für P kann der Salatversuch, nach Abzug des Blindwertes für Samen- P_2O_5 , zu negativen Aufnahmewerten führen, wie sie auch bereits von der NEUBAUER-Methode bekannt sind. Besonders bei saurer Reaktion treten diese negativen Werte auf. EHRENDORFER hat hierauf (1957, 1959) nicht hingewiesen. Bei seinen Untersuchungen wurden jedoch ähnlich extrem saure Böden wie in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet.

6 Zusammenhänge zwischen P-Aufnahme im Salatversuch und E-Wert, L-Wert sowie P-Sorption.

In den Versuchen mit radioaktiv markiertem Superphosphat wurde geprüft, ob auch durch die L-Wert-Bestimmung nach LARSEN (1952) und durch die E-Wert-Bestimmung nach RUSSEL et al (1954, 1957) brauchbare Anhaltspunkte über die Phosphatverfügbarkeit der Versuchsböden erhalten werden können.

Die Menge Bodenphosphat, die in gleicher Weise pflanzenverfügbar wird wie die Düngerphosphorsäure, wurde in Gefäßversuchen mit ^{32}P -markiertem Phosphatdünger von zahlreichen Autoren bestimmt (LARSEN, 1952; FRIED und DEAN, 1952; GUNNARSSON und FREDERIKSSON, 1953; RUSSEL et al, 1954, 1957, 1958).

Sie bezeichnen die auf diese Weise ermittelte P-Menge als L-Wert oder A-Wert. Der L-Wert ist also diejenige Menge an Bodenphosphat, die der Pflanze so verfügbar wird, wie die dem Boden zugeführten Düngerphosphate unter der Voraussetzung, daß ein Gleichgewicht zwischen Bodenphosphat und Düngerphosphat herrscht:



Der isotopisch austauschbare Boden-Phosphor (E-Wert nach RUSSEL) wird ohne Pflanzenanzucht nur durch Ausschüttung von Boden mit einer trägerfreien $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ -Lösung bestimmt.

In den eigenen Untersuchungen wurde der L-Wert auf gedüngten und auch auf ungedüngten Böden ermittelt. Zur Düngung wurde radioaktiv markiertes Superphosphat verwendet, während die ungedüngten Böden trägerfreie $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ -Lösung (25 $\mu\text{Ci } ^{32}\text{P}/100\text{g}$ Boden) erhielten.

Erst jeweils eine Woche nach der Markierung bzw. nach der Düngung erfolgte die Aussaat der Salatsamen. Nach der Veraschung der Pflanzen wurde die darin enthaltene P-Menge kolorimetrisch und radiochemisch bestimmt. Zur Berechnung diente die Formel:

$$L = \left(\frac{C_o}{C} - 1 \right) \cdot X \text{ mmol P/kg Boden}$$

bzw. mg P / 100g Boden

wobei

$$C_o = \frac{{}^{32}\text{P}_D}{{}^{31}\text{P}_D} = \frac{\text{cpm}}{0,1 \text{ gP}} \quad \text{im Dünger}$$

$$C = \frac{{}^{32}\text{P}_{\text{Pfl}}}{{}^{31}\text{P}_{\text{Pfl}}} = \frac{\text{cpm}}{0,1 \text{ gP}} \quad \text{in der Pflanze}$$

$$X = {}^{31}\text{P} \text{ Dünger in mmol P/ kg Boden}$$

bzw. mgP / 100 g Boden

Die Ergebnisse dieser L-Wertbestimmung sind in den Tabellen 24 und 25, Seite 94, zusammengestellt.

Weiterhin wurde die Bestimmung des E-Wertes nach RUSSEL vorgenommen, indem 1g Feinboden ($\phi < 0,5 \text{ mm}$) mit 50 ml trägerfreier $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ -Lösung

GEGENÜBERSTELLUNG DER P-AUFNAHME DURCH
DIE SALATPFLANZE, DES E-WERTES UND DER
P-SORPTION DER VERSUCHSBÖDEN

Probe Nr	Boden- art pH(KCl)	P-Aufnahme Salatmethode mg P_2O_5 / 100g Bd		P-Sorption % (Vorlage 100ppm P)	E - Wert mg P_2O_5 / 100g Bd	
					ohne P- Vorlage	100ppm P- Vorlage
I	II	III		IV	V	VI
1	LS 60	1.54	(0.06)	24	22	-0.20
2	LS 53			28	21	-0.46
3	LS 52			32	28	-0.64
4	SL +5			37	30	-0.84
5	SL +5	1.65	(0.17)	36	36	-0.55
6	TL +6	1.44	(-0.04)	95	206	-6.19
7	L 40	1.33	(-0.15)	100	39.9	
8	SL 70	1.59	(0.11)	45	65	0.41
9	S 38	1.46	(-0.02)	45	44	0.41
10	S 53	2.50	(1.02)	15	48	0.90
11	S +6	1.65	(0.17)	39	32	-0.08
12	S 41	1.53	(0.05)	37	28	-0.61
13	SL 52	1.43	(-0.05)	33	35	0.69
14	SL 55	1.63	(0.15)	35	33	-0.09
15	uL 62	2.26	(0.78)	31	54	1.19
16	SL +1	1.23	(-0.25)	69	96	-1.63
17	uL 51	2.89	(1.11)	71	24.0	7.65
18	tL 50	1.47	(-0.01)	92	23.3	4.49
19	tL 48	1.69	(0.21)	29	14.0	15.20
20	uT 56	1.60	(0.12)	0.16	10.3	12.00
21	uL 45	1.50	(0.02)	56	15.7	13.60
22	uT 53	2.51	(1.03)	0.17	15.5	23.30
23	LS 53			23	68	0.42
24	L 54			40	68	-0.93
25	L 56			37	13.2	3.08
26	SL 45	1.57	(0.09)	47	79	1.15
27	tL 52	1.35	(-0.13)	60	91	0.03
		P-Aufn (ges.), $r = -0.2723$			0.0479	0.4068
		abzugi Samen-P, $r = -0.2729$			0.0479	0.4066

TABELLE 23

GEGENÜBERSTELLUNG VON L-WERT UND E-WERT (UNGEDÜNGTE BÖDEN).

Probe Nr	P-Aufnahme (Salat) mg P ₂ O ₅ /100g Bd.	L-Wert mmol P/kg Bd.	E-Wert mg P ₂ O ₅ /100g Bd. ohne P-Vorlage
1	1.54 (0.06*)	0.33	2.2
5	1.65 (0.17)	0.79	3.6
17	2.89 (1.41)	9.90	24.0
19	1.69 (0.21)	2.25	14.0
20	1.60 (0.12)	0.30	10.3
21	1.50 (0.02)	0.32	15.7
22	2.51 (1.03)	2.60	15.5

TABELLE 24

*abzugi: Samen - P

Korrelation zwischen L-Wert und P-Aufnahme
a) Gesamt-P-Aufn. = 0,8860
b) Abzüglich Samen-P = 0,8869

Korrelation zwischen E-Wert und L-Wert
r = 0.766

ÄNDERUNG DES L-WERTES BEI VARIERTER DÜNGER-GABE

Probe Nr	P-Aufnahme (Salat**) mg P ₂ O ₅ /100g Bd.		L-Wert mmol P/kg Boden	
	I	II	I	II
6	1.34	2.95	0.18	0.51
7*	0.07	0.19	-0.58	0.05
8	2.75	3.82	2.14	5.63
9	0.24	1.07	0.71	0.26
10	5.28	7.49	0.43	0.60
11	1.31	2.42	0.26	0.08
12	0.50	1.84	-0.07	-0.30

TABELLE 25

*: Der Boden wurde aufgekalkt
**: Abzüglich Samen - P

a) bei Vorlage von 100 ppm P

b) ohne Vorlage von P

mittels einer horizontalen Schüttelmaschine 4 Stunden geschüttelt und dann zentrifugiert wurde. Im Filtrat wurde der Phosphatgehalt kolorimetrisch und radiochemisch bestimmt. Über die veränderte spezifische Aktivität erfolgte die Berechnung der E-Werte nach der Formel:

a) bei P-Vorlage nach RUSSEL et al (1954)

$$E = \frac{X_t \cdot Y}{Y_t} - X \quad \dots (2)$$

X_t = Aktivität der Standardlösung

Y_t = Aktivität am Ende

Y = Menge ^{31}P in der Lösung

X = ^{31}P -Zugabe

b) ohne P-Vorlage nach LARSEN (1967)

$$E = \frac{\text{Spez. Aktivität x } ^{31}\text{P-Probe}}{\text{Standard}} \quad \dots (3)$$

Spez. Aktivität in der Probe

$$= \frac{\frac{\text{Akt. Anfang}}{^{31}\text{P}_{\text{Anfang}}}}{\frac{^{32}\text{P}_{\text{Ende}}}{^{31}\text{P}_{\text{Ende}}}}$$

wobei diese Formel für Gleichgewicht in der Bodenlösung gilt.

Eine Gegenüberstellung der P-Aufnahme durch die Salatpflanzen, des E-Wertes und der Sorption der Versuchsböden findet sich in der Tabelle 23, Seite 93.

Diese Zahlen zeigen, daß die P-Aufnahme in keinem direkten Verhältnis zur P-Sorption steht, was zu erwarten war, weil durch die Bestimmung der P-Sorption noch keine Angabe über die Austauschbarkeit und damit über die Pflanzenverfügbarkeit gemacht werden kann.

Zwar zeigt die negative Korrelation an, daß bei hoher P-Sorption die Verfügbarkeit der Bodenphosphorsäure geringer wird, doch ist diese Beziehung nicht eindeutig bei allen untersuchten Böden festzustellen, wie der niedrige Korrelationskoeffizient ($r = -0,2723$) erkennen läßt. Anders ist das Verhältnis zwischen der P-Aufnahme und dem E-Wert (Tabelle 23, Spalte V, Seite 93). Der Spalte V ist zu entnehmen, daß der W-Wert mit steigender P-Sorption zunimmt (z.B. Probe Nr. 1-6). Es besteht aber keine Korrelation zwischen P-Aufnahme durch Salat und E-Wert ohne P-Vorlage ($r = 0,048$).

Die Ursache hierfür dürfte sein, daß von dem sorbierten P-Anteil eine genügende P-Menge leicht austauschbar bleibt, die bei der E-Wertbestimmung erfaßt wird. So kommt es, daß trotz hoher P-Sorption der E-Wert bei diesen Böden ansteigt. Es scheint, daß auch die schweren Böden mit meistens hoher P-Sorption bei der E-Wertbestimmung höhere Werte liefern. Eine Betrachtung der einzelnen Werte läßt jedoch erkennen, daß der E-Wert nicht in allen Fällen parallel mit der P-Sorption läuft; z.B. sorbiert Boden Nr. 9 dreimal soviel P wie der Boden Nr. 10, obwohl beide den gleichen E-Wert aufweisen.

E-Wert bei P-Vorlage

Nach Zugabe von 100 ppm P zur Ausschüttelungslösung ergab die E-Wertbestimmung bei mehreren Böden negative Werte. Bei einer Gruppe von Böden (z.B. Nr. 1-6) stimmen die E-Werte in ihrer Tendenz mit der P-Sorption überein, bei anderen Böden nicht. Wie bereits erwähnt, berechnet man den E-Wert

bei P-Vorlage durch die Formel:

$$E = \frac{{}^{32}\text{P}_{\text{Anfang}} \times \boxed{{}^{31}\text{P}_{\text{Ende}}}}{\boxed{{}^{32}\text{P}_{\text{Ende}}}} - {}^{31}\text{P}_{\text{Anfang}} \dots (4)$$

Zur Erklärung der gefundenen negativen E-Werte bietet sich folgende Deutungsmöglichkeit an:

Die Vorlage von ${}^{31}\text{P}$ verringert zunächst die spezifische Aktivität (${}^{32}\text{P} : {}^{31}\text{P}$) der Ausschüttungslösung. Dadurch wird relativ mehr ${}^{31}\text{P}$ als ${}^{32}\text{P}$ aus der Lösung an die Sorptionskomplexe des Bodens angelagert. Hinzu kommt, daß durch die höhere Phosphatkonzentration der Lösung auch eine höhere P-Sorption insgesamt erfolgt, von der wiederum mehr ${}^{31}\text{P}$ als ${}^{32}\text{P}$ betroffen wird. Dadurch ist in den Versuchen mit ${}^{31}\text{P}$ -Vorlage die ${}^{32}\text{P}$ -Aktivität der Lösung am Ende der Ausschüttung stets größer als in den Versuchen ohne ${}^{31}\text{P}$ -Vorlage, [z.B. Boden Nr. 1a) bei ${}^{31}\text{P}$ -Vorlage : 77,8% der Ausgangsaktivität b) ohne ${}^{31}\text{P}$ -Vorlage: 39 % der Ausgangsaktivität].

Daraus folgt, daß der E-Wert negativ wird, wenn entweder ${}^{31}\text{P}$ am Ende relativ zu klein oder ${}^{32}\text{P}$ Ende relativ zu groß ist (siehe Formel 4).

Normalerweise besagt ein negativer E-Wert bei P-Vorlage, daß der Boden über den Austausch hinaus kein zusätzliches Phosphat an die Lösung abgibt, sondern im Gegenteil Phosphat aus der Lösung sorbiert, während ein positiver E-Wert besagt, daß der Boden P an die Lösung abgibt. Der E-Wert als solcher ist in beiden Fällen ein Maß für den Austausch von P in der Lösung mit P am Sorptionskomplex. Mit P-Vorlage wird bei der E-Wertbestimmung außer dem Phosphataustausch auch die P-Sorption des Bodens erfaßt. Der Phosphataustausch wird anhand der Veränderung der spezifischen Aktivität der Ausschüttungslösung gemessen, während die Veränderung des Gesamt-P-Gehaltes der Lösung ein Maß für die Sorption des Bodens darstellt. Bei Über-

wiegen der P-Sorption kann es deshalb im Verlauf der E-Wertbestimmung mit P-Vorlage zu negativen Werten kommen. Da die P-Vorlage ohne Zweifel auch die Sorptionsverhältnisse des Bodens verändert, ist es zweifelhaft, ob eine E-Wertbestimmung in dieser Form zu brauchbaren Ergebnissen führt.

Im Prinzip unterscheidet sich die E-Wertbestimmung mit P-Vorlage von der üblichen P-Sorptionsbestimmung nur dadurch, daß sie zusätzlich zur P-Sorption den P-Austausch erfaßt.

Die mit P-Vorlage ermittelten E-Werte (Tabelle 23, Spalte VI, Seite 93) besitzen demnach mehr theoretisches als praktisches Interesse.

L-Wert und E-Wert

Eine hohe Korrelation ergab sich bei den ungedüngten Böden (Tabelle 24, Seite 94) zwischen L-Wert und P-Aufnahme ($r = 0,8860$), wobei es keine Rolle spielt, ob man bei der P-Aufnahme durch Salat die bereinigten oder die unbereinigten Werte zugrunde legt. Die L-Werte geben somit zwar die relativen Verhältnisse der P-Versorgung dieser ausgewählten Böden wieder, bieten jedoch in dieser Hinsicht keinen Vorteil gegenüber der chemischen Analyse oder der biologischen Methode mittels Salatpflanzen, die eindeutig, aussagekräftig und weniger umständlich sind.

Hinzu kommt, daß der L-Wert keinen konstanten Wert darstellt, wie der Tabelle zu entnehmen ist, sondern daß er sich je nach der Düngerstufe verändert, meistens mit höheren Düngergaben erhöht. Diese Feststellung wird auch vielfach in der Literatur diskutiert. Die weitverbreitete und allgemeine Annahme, daß der L-Wert konstant bleibe, trifft nicht immer zu (MITSCHALL et al., 1952; FRIED und DEAN, 1952; LARSEN, 1952; RENNIE und SPRATT, 1957).

Die Ergebnisse der L-Wertbestimmung zur Erfassung der P-Versorgung von Böden oder der Ausnutzung von Düngerphosphorsäure auf Böden, die keine konstanten L-Werte aufweisen, dürften demnach irreführend sein, solange man nicht

mehrere Bestimmungen bei variierten Düngergaben durchführt. Eine Gegenüberstellung von L-Wert und E-Wert (ohne P-Vorlage ermittelt, Tabelle 24, Seite 94) bei den ungedüngten Böden ergibt eine gute positive Korrelation ($r = 0,766$). Da der L-Wert aber nur bei den sieben Böden dieser Tabelle bestimmt wurde, kann über die Beziehung zwischen E- und L-Wert der anderen Böden keine Aussage gemacht werden. Zwischen P-Aufnahme durch die Salatpflanze und dem E-Wert mit P-Vorlage besteht eine positive Korrelation von 0,407, also eine solche mit niedrigem Bestimmtheitsmaß ($r^2 = 16,5\%$).

V DISKUSSION DER ERGEBNISSE

=====

Die vorliegenden Untersuchungen und Versuchsergebnisse sollen nach folgenden Gesichtspunkten abgehandelt werden:

1. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Versuchsböden.
2. Umsetzungsversuche mit verschiedenen Düngerphosphaten.
3. Vegetationsversuche mit Salat.
4. Übereinstimmung der chemischen und biologischen Untersuchungen.

D 1 Physikalische und chemische Kennwerte der Versuchsböden.

Aus den Tabellen 2 und 3 (Seite 18 und 20) geht hervor, daß es sich bei den untersuchten 25 mittelafrikanischen Böden durchweg um typische Böden tropischer und subtropischer Herkunft (Karte 1 und 2, Seite 16 und 24) handelt. Ungeachtet der Tatsache, daß sie verschiedenen geologischen Vegetations- und Klimagebieten entstammen, sind sie (Nr. 1 und 15 ausgenommen) sehr stark bis schwach saure Kulturböden (pH 3,8 - 5,6), ein Zeichen für ihren Verwitterungs- und Entbasungsgrad. Dem sehr niedrigen Gehalt an organischer Substanz (um 1%) bei den untersuchten nigerianischen Böden stehen höhere Gehalte von 2,5% bei den Böden aus Ghana und Malawi bzw. 2-3,7% bei äthiopischen Böden entgegen. Die normalerweise zu erwartenden höheren Kohlenstoffgehalte der Böden aus den Regenwaldgebieten (Nr. 9-12) gegenüber niedrigen Gehalten der Savannenböden (Nr. 1-6) waren nicht festzustellen, es sei denn bei den Böden (Nr. 13-15) aus Ghana. Betrachtet man die angeführten Werte (Tabelle 3, Seite 20), so läßt sich, wenn auch nicht in jedem Fall, eine gleichlaufende Tendenz für die Gehalte an organisch gebundener P_2O_5 und organischem C erkennen. Auf die hohe

Korrelation zwischen organisch gebundenem Phosphor und organischer Substanz des Bodens wird vielfach in der Literatur verwiesen (NYE und BERTHEUX, 1957; ACQUAYE, 1963; FRIED und BIRCH, 1960 u.a.). Das C/P_{org} -Verhältnis ist auffallend eng. Diese C/org P-Werte liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Werte (24-55) von JAHN-DEESBACH (1956), sind aber wesentlich niedriger als die von ACQUAYE (1963) und ENWEZOR und MOORE (1966) angegebenen. Eine organische Substanz im Boden, die viel Kohlenstoff gegenüber Phosphorsäure enthält, die also ein weites C/P -Verhältnis aufweist, hat weniger Aussicht auf Nutzbarmachung ihrer P_2O_5 , als eine organische Substanz mit einem engen C/P_{org} -Verhältnis. Erst wenn die organische Substanz ein wesentlich engeres C/P_{org} -Verhältnis aufweist als 150:1, kann eine merkliche Ausnutzung ihrer P_2O_5 möglich werden. (JAHN-DEESBACH, 1955; WALKER und ADAMS, 1958).

Die organisch gebundene Phosphorsäure macht einen beträchtlichen Anteil an der gesamten Bodenphosphorsäure aus, 18-66% bei den nigerianischen Böden und 35-41% bei den ghanaesischen Böden und 18-76% bei den äthiopischen Böden. Auf 28 nigerianischen Böden ermittelte ENWEZOR (1967) zwischen 10 und 79% der Gesamtposphorsäure als organisch gebunden. Für Waldgebiete fand er 211 ppm Gesamt-P und 90 ppm org.P. Für Savannengebiete waren es 102 ppm Gesamt-P und 18 ppm organisch gebundener P. Wahrscheinlich weil die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Proben Kulturböden entstammen, wurden keine deutlichen Unterschiede sowohl im Gesamtgehalt an P als auch im Gehalt an org. P zwischen den Böden der Wald- und der Savannengebiete gefunden.

Die Mineralisierung von organisch gebundener Phosphorsäure und ihre Bedeutung für die Versorgung der Pflanze wird im Schrifttum verschiedentlich diskutiert. Bekanntlich enthalten die Pflanzenwurzeln Phosphatasen, die die Hydrolyse gewisser organischer Phosphate zu bewerkstelligen vermögen und sie somit pflanzenaufnehmbar machen (ROGERS et al, 1940; THOMPSON et al, 1954; HAYASCHI und TAKIJIMA, 1955).

ACQUAYE (1963) fand eine hohe Korrelation zwischen dem Mehrertrag an Kakaobohnen und dem Gehalt an organisch gebundener Phosphorsäure auf den Oberböden in Ghana.

Nach diesem Autor soll die im Laboratoriumsversuch (Umsetzungsversuche) erfolgte N- und P-Zugabe eine erhöhte Mineralisierung der organisch gebundenen Bodenphosphorsäure verursacht haben; es ist allerdings zu betonen, daß auf einem gut mit mineralischen P_2O_5 -Düngern versorgten Boden die Bedeutung der organisch gebundenen P_2O_5 nur gering ist.

Die P-Sorptionswerte zeigen eine Abhängigkeit von der Bodenart und dem Bodentyp. Die sandigen bzw. lehmig-sandigen Latosole besitzen mittleres Sorptionsvermögen (Nr. 1-5), die schwarzerdeähnlichen Böden (Nr. 20 und 22) zeigten keine Nettosorption, sie lieferten im Gegenteil der 100 ppm P enthaltenden Phosphatlösung noch Phosphorsäure aus ihrem P-Vorrat zu. Die ausgesprochen sauren und schweren Latosole (Nr. 6, 16, 17 und 18) sowie der saure deutsche Boden Nr. 7 weisen eine P-Sorption zwischen 71 und 100% auf. Auch YOUNGE und PLUCKNETT (1966) fanden für hawaiische Latosole eine P-Sorption von 25-80% bei 24 stündigem Schütteln von Boden mit 10.000 ppm Phosphatlösung.

Mit den Ursachen der P-Sorption bzw. Phosphatfestlegung im Boden hat sich die Agrikulturchemie bereits im vorigen Jahrhundert beschäftigt. Die Fähigkeit des Bodens für eine P-Sorption wurde schon im Jahre 1850 entdeckt. Neben der Möglichkeit einer Festlegung durch Bildung unlöslicher Phosphate mit Calcium-, Eisen- oder anderen Ionen erkannte der englische Forscher WAY (1850), daß die Festlegung auch als Begleiterscheinung des Bodenaustausches auftreten kann. Um 1860 wurde von A. BEYER die Auffassung bestätigt, daß die Phosphorsäure als unlösliches Phosphat gebunden wird. Er wies auf die Abhängigkeit der Festlegung vom Kalkgehalt des Bodens hin. Während W. KNOP (1868) aufgrund seiner Versuche die Festlegung in der Hauptsache auf eine chemische Bindung der Phosphorsäure zurückführte, hängt die Absorptionerscheinung nach JUSTUS von LIEBIG (1855) lediglich von einer gewissen physikalischen Beschaffenheit der Kalk- und Tonerdesilikate des Bodens ab. Demgegenüber

stellte van BEMMELLEN (1888) fest, daß ein Boden, welcher durch Behandlung mit Salzsäure alle Kationen, die mit Phosphorsäure schwerlösliche Verbindungen bilden können, verloren hat, das Vermögen einbüßt, nennenswerte Phosphat-säuremenge zu absorbieren. Aus allen Arbeiten, auch aus den eigenen Untersuchungen, ist zu erkennen, wie entscheidend der Einfluß der Bodenreaktion auf die Aufnehmbarkeit der Bodenphosphate durch die Pflanze ist. Eingehende chemische und pflanzenphysiologische Versuche von JUNG (1952) lassen erkennen, daß die leichtlöslichen Phosphate des Bodens im Laufe der Zeit in den von der Pflanze nur wenig ausnützbaaren Hydroxylapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ bzw. in den praktisch unlöslichen Fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ umgewandelt werden. Die Entfernung aktiver Eisen- und Aluminiumoxide bei lateritischen Podsolböden führte zu erheblicher Verminderung der Phosphatfixierung (KANWAR, 1956).

So stellt sich der Vorgang der Phosphationenfestlegung im wesentlichen als chemische Ausfällung und als physikalische Sorption dar: die Art der Tonerdesilikate, die wirksame Oberfläche dieser Bodenkolloide, die Bodenreaktion und der Gehalt des Bodens an Calcium, Eisen und Aluminium sind für die Absorptionskraft des Bodens maßgebend.

Die unvermeidliche Bildung von Hydroxyl- und Fluorapatit setzt die Wirkung der Düngerphosphate im Boden herab. Da alle Phosphate zur Bildung schwerlöslicher Verbindungen neigen, ist die Festlegung die eigentliche Ursache für die geringe P-Konzentration der Bodenlösung (sie liegt maximal bei 1 ppmP und beträgt nur etwa $1/100$ von der des NO_3^- -Ions).

Die verschiedenen angewandten Extraktionsverfahren (Tabelle 4, Seite 21) geben eine übereinstimmende Auskunft über den niedrigen Gehalt sämtlicher Versuchsböden an pflanzenverfügbarem Phosphat. Im Vergleich zu dem Grenzwert der Laktatmethode für mittlere Böden (sL,L), der bei pH-Werten bis 5,5 mit $6\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g Boden}$ angegeben wird, stellt sich heraus, daß die untersuchten Böden sämtlich schlecht bis sehr schlecht versorgt sind ($0,5-4,4\text{ mg P}_2\text{O}_5$). Ausnahmen machen nur die Proben Nr. 15, 17, 22 und 25. Auch die durch Wasser, NH_4F und Natriumbicarbonat extrahierten P-Mengen

waren im Vergleich mit den für diese Methoden gültigen Grenzwerten niedrig. Es war deshalb nicht erstaunlich, daß sämtliche Böden im Salatversuch auf die P-Düngung reagierten. Aus den Versuchsergebnissen von NEMEC (1926) geht hervor, daß nur solche Böden auf Superphosphatdüngung ($50\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$) reagierten, die im Wasserauszug weniger als $35\text{mg P}_2\text{O}_5$ je 1kg lufttrockenen Bodens, d.h. $3,5\text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{g Boden}$) enthielten.

Die extrem niedrigen Werte für laktatlösliches Kalium der nigerianischen Proben spiegeln die Tatsache wider, daß es sich um kaliarme Böden (Nr.2-5) der Kontrollparzelle von Düngungsversuchen handelt. Die ebenfalls kaliarmen Proben Nr.9-12 entstammen den Anbaugebieten der Ölpalme (*Elaeis guineensis*), bei deren Ertragsbildung das Kalium den weitaus wichtigsten ertragsbestimmenden Faktor darstellt (TINKER und ZIBOH, 1959).

Die untersuchten ghanaesischen Proben (Nr.13 und 15) sowie die Mehrzahl der zentral- und ostafrikanischen Proben (Nr. 17-27) sind im allgemeinen gut mit Kalium versorgt.

Aus den Zahlen der Spalten 4 und 5 (Tabelle 4, Seite 21) geht deutlich hervor, daß die Erweiterung des Verhältnisses Wasser:Boden von $20 : 1$ auf $50 : 1$ eine Erhöhung der extrahierten P_2O_5 -Menge zur Folge hat. Dies ist für die Bodenextraktion mit Wasser bekannt (BURGESS, 1922; WRANGEL, 1926; MAHAPATRA und PATRICK, 1969). Als Erklärung für diese Tatsache kann gelten, daß die größere Lösungsmittelmenge eine verstärkte Einwirkungsmöglichkeit auf die Bodenphosphorsäure besitzt. Denn wir haben es im Boden mit verschiedenen Formen der Phosphorsäure zu tun, von denen einige erst durch Einwirkung größerer Wassermengen, auch ohne erhöhten mechanischen Einfluß, wie längeres Schütteln, in löslichen Zustand überführt werden. Es wäre nach WRANGEL und MEYER (1926) hierbei in erster Linie an Formen sorptiv gebundener Phosphorsäure zu denken, deren Bindung durch erhöhte Menge des Lösungsmittels gelöst wird. Neuerdings wird für die Extraktion mit Wasser zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates ein noch weiteres Verhältnis von Wasser : Boden ($60 : 1$) in den Niederlanden empfohlen (SISSINGH, 1968).

D 2 Die Umsetzungsversuche

Zweck der Umsetzungsversuche war es zu zeigen, ob im zeitlichen Ablauf der Festlegung verschiedener Phosphatdüngemittel wesentliche Unterschiede auftreten und welche Zusammenhänge hierbei zu den Bodeneigenschaften bestehen.

Die Ergebnisse des ersten Umsetzungsversuches (Tabellen 5,6,7, Seite 29,30 und 32) lassen erkennen, daß mit zunehmender Versuchsdauer eine klare Tendenz der zunehmenden Verfügbarkeit (Spalte VI, X und XIV) des Rhenaniaphosphates (Probe Nr. 1,3,4 und 5) sowie des Thomasphosphates (alle Böden außer Nr.7) zu verzeichnen war, jedoch fast überall, mit Ausnahme von Probe Nr. 4 und teilweise Nr. 2, eine Abnahme der Verfügbarkeit der Superphosphatphosphorsäure. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Erfahrungen der Praxis, daß auf sauren Böden Rhenania- und Thomasphosphat weniger der Festlegung ausgesetzt sind als das Superphosphat (OFORI, 1968; JONES, 1959).

Die Erfassung der verschiedenen Düngemittel durch die DL-Methode wird in Tabelle 71 zusammenfassend dargestellt. Hierbei wurden die höchsten Werte allgemein bei Thomasphosphat, die niedrigsten bei Superphosphat erhalten.

Die Ergebnisse der Umsetzungsversuche sind in Tabelle 9, 10 und 11 enthalten. Hier zeigt sich, daß die verschiedenen Extraktionsmethoden bei gleichen Böden völlig voneinander abweichende Werte liefern. Das ist verständlich, da die zur Beurteilung der Festlegung bzw. der Verfügbarkeit der Düngerphosphorsäure herangezogenen Extraktionslösungen, Doppellaktat (pH 3,6), NH_4F (pH 3,5) und H_2O (neutral), gemäß ihrer Zusammensetzung und ihres pH-Wertes ein unterschiedliches Lösungsvermögen besitzen. Die DL-Werte liegen niedriger als die der NH_4F -Methode, noch niedriger sind die H_2O -Extraktionswerte. Da die DL-Lösung (pH 3,6) sowie die NH_4 -Lösung (pH 3,5) etwa den gleichen pH-Wert haben, ist ihr unterschiedliches Lösungsvermögen durch die chemische Zusammensetzung bedingt. Bekanntlich greifen NH_4F -Ionen hauptsächlich die Aluminiumphosphate und zum geringeren Teil Eisenphosphate an (TURNER und RICE, 1954),

die Laktatlösung dagegen hauptsächlich Calciumphosphate.

Das unterschiedliche Festlegungsvermögen dieser Böden für die verschiedenen Phosphatdünger äußerte sich besonders bei der NH_4F - und der H_2O -Extraktion. Die höchsten Wasserextraktionswerte wurden in den einzelnen Böden nicht bei Superphosphat, sondern in den meisten Fällen bei Rhena-niaphosphat erhalten. Ähnliches gilt auch für die NH_4F -Extraktionsmethode.

Im Durchschnitt aller Proben stellt sich das Lösungsvermögen der verschiedenen Extraktionsmittel für die einzelnen Düngemittel in folgender abnehmender Reihenfolge heraus: DL-Methode = Rh : Th : Super = 100 : 124 : 92

NH_4F -Methode = Rh : Th : Super = 100 : 80 : 96

H_2O -Methode = Rh : Th : Super = 100 : 67 : 78

Das Thomasphosphat wird also nur bei der DL-Methode bevorzugt bewertet, die beiden anderen Methoden liefern dagegen die niedrigsten Werte für Thomasphosphat. Dieser Befund findet Unterstützung in der Literatur. Nach WAGNER (1969) liefert die DL-Methode die höchsten Werte bei weicherdigem Rohphosphat und es läßt sich die Tendenz einer abnehmenden Reihenfolge, Rohphosphat - Thomasphosphat - Glühphosphat - Superphosphat - teilaufgeschlossenes Rohphosphat, erkennen. Der Aussagewert der jeweiligen Extraktionsmethode über die Pflanzenverfügbarkeit des Düngerphosphates kann aber nur anhand von Vegetationsversuchen beurteilt werden. Hierauf wird später noch zurückzukommen sein. Einen Einblick in die Art der Phosphatbindung im Boden vor und nach der Phosphatdüngung vermitteln die Tabellen 12 und 13, Seite 52 und Seite 53. Das anorganisch gebundene Bodenphosphat liegt bei den sämtlichen untersuchten nigerianischen Latosolen vorwiegend in der Eisenform vor, die mengenmäßig an zweiter Stelle liegenden Phosphatfraktion stellt das Aluminiumphosphat dar. Ähnliches trifft auch auf dem stark sauren deutschen Boden Nr. 7 zu. Im Gegensatz dazu liegt der Anteil des an Calcium gebundenen Phosphates bei dem neutralen Boden Nr. 8 am höchsten. KHANNA und DATTA (1967) beobachteten, daß von den drei P-Formen, Aluminium-, Eisen- und Calciumphosphat, das letztere in den

untersuchten indischen alluvialen Böden mit pH-Wert 7,0 vorherrschte, während Al- und Fe-Phosphat in sauren Böden und Roterden überwiegend waren. Der Anteil der anorganischen Bodenphosphatformen hängt von der Art des Ausgangsgesteines sowie von dem daraus entstehenden Bodentyp (IVANOV, 1965), von dem Verwitterungsgrad (CHANG und JACKSON, 1958; IVANOV, 1965) vom pH-Wert des Bodens, von der Korngrößenzusammensetzung (WIECHMANN, 1966, KHANNA und ULRICH, 1967) sowie von der Bildung und Mineralisierung der organischen Substanz ab. Bei der Düngung mit Superphosphat (Tabelle 12 und 13, Seite 52 und 53) wurde die Düngerphosphorsäure hauptsächlich im Aluminium- und Eisenphosphat überführt. In den von KAILA (1961) untersuchten Böden (pH 4,6–6,4 in 0,02n CaCl_2) tendiert das Superphosphat ebenfalls dazu, die Al- und Fe-Phosphatfraktion zu erhöhen. Auch KHANNA und DATTA (1967) fanden die größte Zunahme der Aluminium- und Eisenfraktion auf den mit basischer Schlacke (basic slag) gedüngten Böden.

Die Zunahme an Fe-P war geringer als die an Al-P; nur sehr gering war die Zunahme an Ca-P, auch dort, wo die P-Dünger als Calciumsalz verabreicht wurden. Bei Düngung mit Thomas- und Superphosphat im Feldversuch fand WIECHMANN (1966), daß die Anreicherung von Al-P und Fe-P in allen Versuchen im Vordergrund stand. Zwar zeigte die Thomasphosphatdüngung im Vergleich zur Superphosphatdüngung die Tendenz einer geringeren Anreicherung von Al-P und Fe-P, diese Tendenz war aber nicht durch gesicherte Unterschiede gekennzeichnet.

Auf einem Boden mit starkem P-Festlegungsvermögen wurden größere P-Gaben rasch in Al- und Fe-Phosphat umgewandelt (SIELTON und COLEMAN, 1968). Im Verlauf von 8 Jahren nahm dabei das Aluminiumphosphat zugunsten des Fe-Phosphates ab. Die Befunde von HESSE (1963) und SOMMER (1967) über die allmähliche Überführung von Al- in Fe-Phosphat wurden bereits erwähnt. Die Ergebnisse von TAYLOR und GURNEY (1965) zeigen, daß $\text{Al}(\text{OH})_3$ wirksamer bei der Ausfällung von Phosphaten aus konzentrierten sauren Phosphatlösungen ist als kristalline Eisenoxide. Große Mengen von Eisenphosphat werden wahrscheinlich nur auf Böden mit feinverteilten oder hoch

reaktiven Eisenoxidformen oder auch auf aluminiumarmen Böden bevorzugt gebildet. Diese zahlreichen Befunde mit übereinstimmenden Ergebnissen aus Laboratoriumsversuchen und Feldversuchen aus verschiedenen Erdteilen, lassen keinen Zweifel bestehen, daß nach P-Düngung die Anreicherung vor allem der Aluminium- und Eisenphosphatfraktion, letztere in zweiter Linie, im Vordergrund steht. Die eigenen Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, daß die Verteilung der dem Boden zugeführten Phosphatdünger auf die einzelnen Fraktionen, zumindest während der Versuchsdauer, weitgehend unabhängig von der Bodenreaktion, der Bodenart und der Herkunft des Bodens erfolgt.

D 3 Die Vegetationsversuche mit Salat

Eine Zusammenstellung über die in verschiedenen Versuchen ermittelte Trockensubstanzbildung und P-Aufnahme durch die Salatpflanze auf sämtlichen ungedüngten Böden enthält die Tabelle 22. Wie auf diesen sehr unterschiedlichen Böden zu erwarten war, verläuft der Trockenenertrag an Salat nicht immer parallel mit der P-Aufnahme. In Anlehnung an die Werte der Laktatmethode für mittlere Versorgung bei mittleren Böden (sL,L) für pH-Werte von 5,6-6,5, die mit 6 mg bzw. 12mg P_2O_5 angegeben sind, ergeben sich nach EHRENDORFER (1959) für die Salatmethode etwa die Grenzwerte 1,5 mg bzw. 3,0mg P_2O_5 . Demzufolge können nur die Proben Nr. 10,17 und 22 als relativ gut mit Phosphorsäure versorgt angesprochen werden.

Die negativen Werte (nach Abzug des Samen-P) auf den Böden Nr. 7 (-0,17mg), Nr. 16 (-0,25mg), Nr. 27 (-0,13mg) sind darauf zurückzuführen, daß ähnlich wie bei der Neubauer-Methode mit Roggen die jungen Salatpflanzen P an phosphorarme, sorptionsstarke Böden abgeben. Diese Verhältnisse treten nach EHRENDORFER allerdings bei der Keimpflanzenmethode von NEUBAUER in viel stärkerem Maße auf. Ein negativer P-Wert der Salatmethode bedeutet somit, daß der Boden nahezu frei von pflanzenaufnehmbarer Phosphorsäure ist.

Diese negativen Werte bei Salat stimmen gut mit den chemischen Analysen (Tabelle 4, Seite 21) überein. Mehrfache Untersuchungen an einigen Böden zu verschiedenen Zeitpunkten ergaben bei den einzelnen Untersuchungsterminen nur geringe Abweichungen ($< 0,4 \text{ mg P}_2\text{O}_5$), ein Zeichen für die Zuverlässigkeit und gute Reproduzierbarkeit der Salatmethode.

Die Aufkalkung humider tropischer Böden führte in der vorliegenden Arbeit, wie auch an anderen Stellen im Schrifttum berichtet wird, (GREEN, 1954, HARTLEY, 1968) eher zu verminderter Ertragsbildung und verminderter P-Aufnahme (Probe Nr. 9 und 12, Tabelle 17, Seite 70, Probe Nr. 6, Tabelle 18), eine noch nicht aufgeklärte Erscheinung in tropischen Klimabereichen, die vielleicht auf die geringe Pufferkraft der Böden gegenüber Überkalkung zurückzuführen ist.

Aus den Tabellen 16, 17, 18 und 19 geht eindeutig hervor, daß nach steigender P-Düngung sowohl die Trockensubstanzbildung als auch die P-Aufnahme durch Salat zunimmt. Weiterhin lassen diese Zahlen erkennen, daß sowohl die Zunahme an Trockensubstanzbildung als auch an P-Aufnahme bei jeder höheren Düngungsstufe etwa abnimmt. Die Ertragszunahme durch steigende P-Düngung beträgt je nach Boden und Düngungsstufe 5% - 35%. Die visuelle Beurteilung der Ertragsbildung durch Salat entspricht nicht unbedingt den ermittelten Werten für die P-Aufnahme; zwar steigt die P-Aufnahme bei gesteigerter Trockensubstanzbildung und infolge des steigenden P-Angebotes an, die Vegetationsbeobachtungen hinsichtlich der Leistung verschiedener P-Düngemittel stehen aber nicht immer im Einklang mit den Analysenwerten.

Die ungünstige Beeinflussung der Entwicklung der Salatpflanze auf Böden mit pH-Werten < 5 zeigte sich besonders bei Probe Nr. 7 (pH 4,0) wo der Trockenenertrag in allen Düngungsstufen und in der Kontrollreihe praktisch gleich war und die P-Ausnutzung sehr niedrig (1-3%) lag (Probe Nr. 7 und 6). Auch RAUTERBERG und DERVISH (1967) kamen bei einem Methodenvergleich zu der gleichen Feststellung hinsichtlich des Einflusses niedriger pH-Werte auf die Entwicklung von Salat.

Die Böden Nr. 10, 15 und 17 sind relativ gut mit P versorgt. Hinsichtlich ihres P-Vorrates sowie der Ausnutzung des Düngerphosphates sind die Böden Nr. 10 (30% P-Ausnutzung und Nr. 15 (18% P-Ausnutzung) günstig zu beurteilen, der Boden Nr. 17 demgegenüber (2-3% Ausnutzung) zeigt trotz des höchsten Vorrates an pflanzenverfügbarem P eine niedrige Ausnutzung von Dünger-P. Im Durchschnitt aller Böden liegt die P-Aufnahme des Salates zwischen 10 und 15% der Düngung. Wie von P-Steigerungsversuchen bekannt, ergab sich auch hier für die höhere P-Gabe eine niedrigere prozentische Ausnutzung (vergleiche die Böden Nr. 6, 8, 10 und 11). Ist die Ausnutzung des Düngerphosphates gut, wie bei den Böden Nr. 8, 10 und 11, Tabelle 18 und 19, Seite 71, so wird die hohe P-Gabe schlechter ausgenutzt als die niedrige. Bei schlechter P-Ausnutzung erfährt die hohe P-Gabe noch eine Zunahme der Ausnutzung gegenüber der niedrigen Gabe. Auch die Praxis liefert den Hinweis, daß bei gewissen Kulturen, z.B. Erdnüssen, niedrige P-Gabe eine relativ bessere Wirkung als hohe Gaben zeigten, worüber GREENWOOD (1951) in Nigeria, NYE (1952) in Ghana, leMARE (1959) in Tangayika berichteten. Auf den mit dem höchsten Vorrat an pflanzenverfügbarem Phosphat gekennzeichneten Böden Nr. 10, 15, 20 und 22 (pH 5,5-6,2), wo die P-Ausnutzung höher als 15% war, zeigte das Superphosphat eine hervorragende Leistung. Auf den stark sauren und stark P-sorbierenden Böden dagegen werden die verschiedenen Phosphatdünger entweder gleich ausgenutzt (Nr. 6, 7, 16 und 21) oder das Superphosphat fällt in seiner Wirkung ab. Die Ausnutzung der geprüften Düngemittel durch die Salatpflanze ergab die folgenden Verhältniszahlen:

	Rh	Super	Th
für Böden aus Nigeria:	100	97	90
für Böden aus Ghana:	100	93	78
für Böden aus Äthiopien:	100	92	81

Einschließlich der Böden aus Liberia, dem Kongo und Tansania ergaben sich für alle im Salatversuch untersuchten Böden die Ausnutzungswerte Rh : Super : Thomas = 100 : 93 : 87. Diese Befunde lassen erkennen, daß das Rhonaniaphosphat auf

diesen tropischen Böden verschiedenster Herkünfte eine zum Teil deutliche Überlegenheit aufweist.

Frühere Untersuchungen zur Frage der Phosphatdüngung in den Tropen wurden hauptsächlich mit Superphosphat durchgeführt, deshalb die verbreitete Verwendung des Supernosphates in diesen Gebieten. Dies ist zumindest vom bodenkundlichen Aspekt überraschend, da das wasserlösliche Phosphat auf diesen Böden schnell fixiert wird. PIGGOT (1956) beschreibt eine anfängliche Ertragshöhung (bis zu 70%) durch Superphosphatdüngung auf den an P schlecht versorgten, sauren Latosolreisböden von Sierra Leone, die aber mit diesem P-Dünger auf die Dauer nicht erhalten werden konnte. In diesem Gebiet zeigt sich, daß auf der Versuchsstation Njala durch Superphosphatdüngung selten Erträge von mehr als 400 lb/acre (450 kg/ha) an Reis erzielt werden, während die der Station benachbarten Bauern nach mehrjähriger Brache ohne weitere Düngung Erträge von 600 lb/acre (670 kg/ha) erreichen. Sicherlich dürfte auf diesen sauren Böden ein weniger zur Festlegung neigender Phosphatdünger, wie das Rhenania- oder Thomasphosphat, bessere langfristige Wirkung erbringen. Bekanntlich wird die P-Festlegung durch lösliche Kieselsäure gehemmt (LEMMERMAN et al, 1925; ACHROMLIKO, 1934; THEMLITZ, 1941; KNICKMANN, 1962), auch kann bereits festgelegtes Phosphat durch Silikat teilweise wieder freigesetzt und somit verfügbar werden (GANSUMANN, 1961, 1962). Diese Tatsachen lassen silikathaltige Phosphate als besonders gut für die Düngung saurer tropischer Böden erscheinen.

Nach ZELLER (1930) brachte Rhenaniaphosphat auf einem vulkanischen Lavaboden Kameruns gegenüber Superphosphat einen Mehrertrag von 20% an Kakaobohnen und 14% an Bananen. JONES (1959) ermittelte in Versuchen auf lateritischen Böden Kenyas folgende Ausnutzungsquotienten:

gemahlenes Rohphosphat	4- 7%
Superphosphat	13-23%
3odaphosphat(Rhenania)	13-25%

Über ähnliche günstige Düngerwirkungen von Rhenaniaphosphat

auf Latosolen in Südamerika berichten FASSBENDER und MÜLLER (1967). Auch die Untersuchungen von OFORI (1968 a) in Ghana über die direkte, die kumulative und die Nachwirkung verschiedener Phosphatdünger (Superphosphat, Tripelsuperphosphat und Thomasschlacke ("basic-slag") zeigten die Überlegenheit der "basic-slag" auf den sauren Böden, (Standort Oda). Auf Böden mit neutraler Reaktion dagegen zeigte das Superphosphat überlegene Wirkung. Auf schwach sauren bis neutralen Böden (pH 6,4-6,8) zeigten Superphosphat und Tripelsuperphosphat die beste Nachwirkung, die Thomasschlacke dagegen zeigte die beste Nachwirkung auf sauren Böden (pH 5,9). Dieser Befund steht in guter Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen. Von WERNER (1969) wurden in Gefäßversuchen auf drei tropischen Böden (Latosolen) mit pH-Werten unter 4 die Phosphatwirkung von Superphosphat und Rhenaniaphosphat, beide in gemahlener und gekörnter Form, vergleichend geprüft. Auf sämtlichen Böden war das Rhenaniaphosphat dem Superphosphat deutlich überlegen. Das wasserlösliche Superphosphat wurde sehr schnell festgelegt, insbesondere bei Verabreichung in gemahlener Form. Demgegenüber erwies sich das citratlösliche Rhenaniaphosphat, in beiden Korngrößen, infolge seiner Komplexbindung mit Kalk und Kieselsäure, als weitgehend stabiler gegenüber einer Festlegung im Boden.

Die eigenen Untersuchungsergebnisse mit der Salatmethode bestätigen somit frühere Literaturangaben von Gefäß- und Feldversuchen, nach denen kalkreiche und kieselsäurehaltige Glühphosphate aus bodenkundlicher und pflanzenphysiologischer Sicht für die Düngung saurer sesquioxidreicher tropischer und subtropischer Böden den wasserlöslichen Phosphaten vorzuziehen sind. Die verbreitete Anwendung von Superphosphat dürfte mitverantwortlich für die häufig beobachtete geringe Wirkung einer P-Düngung in vielen tropischen Gebieten sein. Durch Gefäß- oder Feldversuche sollte ermittelt werden, welches Phosphatdüngemittel in den einzelnen Gebieten oder Regionen die höchste Wirksamkeit erbringt.

D 4 Übereinstimmung der chemischen und biologischen Untersuchungen.

Es wurde in dieser Arbeit angestrebt, die Frage zu beantworten, welche chemische Methode zur Bestimmung des Vorrates an pflanzenverfügbarem Phosphat bei ungedüngten und bei mit Rhenania-, Super- und Thomasphosphat gedüngten Böden die beste Übereinstimmung mit der Salatmethode ergibt, die, als pflanzenphysiologische Methode, als Standardmethode angesehen werden soll, von der die zutreffendste Auskunft über die Menge des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden erwartet wird. Das heißt, daß die chemischen Extraktionsmethoden an der Salatmethode gemessen werden sollen und diejenige chemische Methode ermittelt werden soll, die zu möglichst gleichen Aussagen kommt wie die Salatmethode. Zu diesem Zweck wurden die erhaltenen Ergebnisse mittels der Korrelations- und Regressionsrechnung miteinander verglichen. Die Korrelationskoeffizienten (r) sind ein Ausdruck für die Übereinstimmung der jeweiligen Bodenuntersuchungsmethoden mit der Salatmethode. Bei vollkommener Korrelation wird der Koeffizient $r=1$. Das Bestimmtheitsmaß ergibt sich aus dem Wert r^2 . Der Regressionskoeffizient (b) gibt die lineare Abhängigkeit für die Werte der Untersuchungsergebnisse der beiden jeweils zu vergleichenden Methoden an. Die Größe (b) sagt somit aus, um wieviele Einheiten das Merkmal (y) zu- oder abnimmt, wenn sich (x) um eine Einheit verändert. Die Größe A gibt an, in welcher Höhe die Regressionsgerade die y -Achse im Punkt $x=0$ schneidet. Die in der nachstehenden Tabelle 26, Seite 114, aufgeführten Korrelations- und Regressionskoeffizienten wurden aus den Mittelwerten der Untersuchungsergebnisse der einzelnen Böden errechnet, wobei die Werte der jeweiligen Extraktionsmethode (y) mit denen der Salatmethode (x) verglichen wurden. Beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse der NaHCO_3 -Methode nach OLSEN mit den Salatwerten war die Korrelation auffallend niedrig. Diese Methode wurde aus diesem Grunde bei den gedüngten Böden nicht miteinbezogen.

Tabelle 26: Regression, Korrelation und Bestimmtheitsmaß
sowie A-Werte (aus Mittelwerten).

I	n	A-Werte	Regression	Korrelation	Bestimmtheit
DL-Thomas	18	3,668	2,022	0,5044	25,4 %
DL-Rhenania	18	3,132	1,652	0,5347	28,6 %
DL-Super	21	3,524	1,503	0,5270	27,8 %
DL-Ungedüngt	21	1,419	7,013	0,7249	52,5 %
DL-Gedüngt	57	3,555	1,641	0,5088	25,9 %
DL-alle Varianten	78	2,984	1,859	0,5722	32,7 %
Bray-Thomas	18	7,839	1,353	0,3776	14,3 %
Bray-Rhenania	18	7,761	1,588	0,4723	22,3 %
Bray-Superhos	21	8,106	1,804	0,4854	23,6 %
Bray-Ungedüngt	21	4,382	4,090	0,6611	43,7 %
Bray-Gedüngt	57	7,835	1,647	0,4610	21,3 %
Bray-alle Varianten	78	6,394	2,080	0,5828	34,0 %
H ₂ O-Thomas	18	0,633	0,466	0,8249	68,0 %
H ₂ O-Rhenania	18	0,625	0,614	0,8813	77,7 %
H ₂ O-Superphos	21	0,496	0,637	0,7952	63,2 %
H ₂ O-Ungedüngt	21	0,420	0,673	0,7796	60,8 %
H ₂ O-Gedüngt	57	0,554	0,595	0,8242	67,9 %
H ₂ O-alle Varianten	78	0,497	0,612	0,8614	74,2 %
H ₂ O- ungedüngt	21	0,971	1,056	0,7482	56,0 %
Olsen-unge- düngt	21	6,474	5,319	0,4965	24,7 %

n = Anzahl der Mittelwerte

Vergleich der Salatmethode und DL-Methode.

Die Korrelation (r) zwischen den Salatwerten und DL-Ergebnissen schwankt im Bereich $r = 0,5044$ bei Düngung mit Thomaspophosphat und $r = 0,7249$ bei ungedüngten Böden. Dies entspricht einem Bestimmtheitsmaß von 25,4% bzw. 52,5%. Im Mittel aller Varianten aber, d.h. der ungedüngten und gedüngten Böden, ergibt sich eine Korrelation von $r = 0,5722$. Diese Zahlen scheinen niedrig zu sein insofern, als EHRENDORFER (1959) beim Methodenvergleich mit der DL- und der Salatmethode folgende Werte erhielt: (bei ungedüngten Böden)

Anzahl der Proben	pH	Regression	Korrelation	Bestimmtheit
17	5,6-6,6	$3,515 \pm 0,58$	0,852	72,6%
11	5,3-7,4	$4,916 \pm 1,58$	0,720	51,9%
30	6,6-7,6	$1,986 \pm 0,31$	0,769	59,1%

Sie wurden aus Mittelwerten errechnet und, wie die Übersicht zeigt, waren es keine stark sauren Böden mit extremen pH-Werten wie in der vorliegenden Arbeit. Daß eine hohe Bodenazidität die Korrelation beeinflusst, zeigen die von RAUTENBERG und DERVISH (1967) auf stark sauren Böden ermittelten Korrelationskoeffizienten, die noch niedriger waren als die in der vorliegenden Arbeit. Sie erhielten beim Vergleich der Salatmethode mit verschiedenen chemischen Extraktionsverfahren folgende Korrelationskoeffizienten (r):

Anzahl der Böden	pH	DL	$\text{NH}_4\text{F-HCL}$	NaHCO_3	H_2O
15	< 5	0,001	0,155	0,201	0,034
15	> 5	0,879	0,659	0,498	0,831
30	3,40-6,50	0,710	0,243	0,145	0,215

Die niedrigen Korrelationskoeffizienten für die Böden $\text{pH} < 5$ sind zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Pflanzen bei pH -Werten unter 5 in ihrer Entwicklung ungünstig beeinflußt werden. Die gleichen Autoren betonen, daß das besonders für den Salat gilt. Die Übersicht läßt weiterhin erkennen, daß durch die Zusammenfassung aller Böden ohne Gruppeneinteilung die Korrelation erheblich geschwächt wird. Die Zusammenfassung aller Böden ohne Rücksicht auf ihre Eigenschaften ist somit ein harter Test für die jeweilige Methode.

Die Regressionskoeffizienten (Tabelle 26) zwischen den Salatergebnissen und den DL-Werten, 1,641 für die gedüngten Böden und 1,859 für alle Varianten (gedüngte und ungedüngte Böden), geben an, daß bei einer Erhöhung der P-Aufnahme durch den Salat um $1\text{mg P}_2\text{O}_5$, die mit DL-Lösung extrahierte P-Menge im Mittel um 1,6 bis $1,8\text{mg P}_2\text{O}_5$ zunimmt. Bei Düngung mit Rhenania- oder Superphosphat zeigt die DL-Methode demzufolge eine Zunahme von 1,65 bzw. $1,50\text{mg P}_2\text{O}_5$, wenn die Salatpflanze eine Mehraufnahme von $1\text{mg P}_2\text{O}_5$ aus dem Boden aufweist. Diese Werte sind etwa vergleichbar mit dem von EHRENDORFER ermittelten Wert von $1,986 \pm 0,31$. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen an, daß die Lösungskraft der Laktatlösung für P stärker ist als die P-Aufnahme durch die Salatpflanze. Bei Düngung mit Thomasphosphat ergibt sich aus den hier ermittelten Werten, daß die DL-Methode im Durchschnitt eine Zunahme von etwa $2,02\text{mg P}_2\text{O}_5$ je $1\text{mg P}_2\text{O}_5$ Mehraufnahme durch die Salatpflanze anzeigt. Auffallend ist der hohe Regressionswert von 7,013 für die ungedüngten Böden. Der Wert A gibt an, daß für ungedüngte Böden die DL-Methode durchschnittlich $1,419\text{mg P}_2\text{O}_5$ anzeigt, wenn die Salatpflanze keinen P aus dem Boden aufnimmt.

Vergleich der Salat- und NH_4F -Werten(nach BRAY).

Für die ungedüngten Böden ergibt sich die Korrelation $r = 0,6611$; für die gedüngten Böden $r = 0,4610$ und für alle Varianten ist $r = 0,5828$ zu verzeichnen. Dies entspricht einer Übereinstimmung zwischen Salatwerten und NH_4F -Werten nach BRAY von 21,3%-43,7% für die 27 untersuchten Böden (Vergleiche $r = 0,243$ nach RAUTERBERG und DERVISH). Die Korrelationswerte für die mit Thomas-, Rhenania- und Superphosphat gedüngten Reihen sind ebenfalls relativ niedrig ($r = 0,378$; $0,472$ bzw. $0,485$).

Der Regressionskoeffizient (b) 2,080 im Mittel aller Varianten, 4,090 für "ungedüngte" und 1,647 für gedüngte Proben besagt, daß bei einer Erhöhung der P-Aufnahme durch die Salatpflanze um $1\text{mg P}_2\text{O}_5$ die mit Ammoniumfluorid extrahierete P-Menge sich im Mittel um $2\text{-}4\text{mg P}_2\text{O}_5$ vergrößert.

Der Wert A (6,394) für alle Varianten zeigt an, daß, wenn die Salatpflanze keinen Phosphor aus dem Boden aufnimmt, die NH_4F -Lösung noch $6,394\text{mg P}_2\text{O}_5$ bzw. $4,38\text{mg P}_2\text{O}_5$ bei ungedüngten Böden erfaßt.

Vergleich der Salatwerte und der Extraktion mit H_2O .

Die Übereinstimmung der Salatmethode mit der Wassereextraktionsmethode (Tabelle 26, Seite 114) ist für alle Varianten sehr gut mit $r = 0,8614$. Für ungedüngte Böden beträgt $r = 0,8242$, bei Düngung mit Thomasphosphat $r = 0,8249$, mit Rhenania- $r = 0,8813$ und mit Superphosphat $r = 0,7952$. Diese hohe Korrelation zwischen den Salat- und den Wassereextraktionswerten für 27 extreme Böden, pH 3,8-7,0, ist ein Zeichen dafür, daß die beiden Methoden recht ähnliche Aussagen über die Phosphatversorgung der untersuchten Böden liefern. RAUTERBERG und DERVISH (1967) verzeichnen eine solch hohe Korrelation ($r = 0,851$) zwischen H_2O - und Salatwerten nur für die Böden $\text{pH} > 5$; für die Böden pH 3,1-6,5 erhielten sie eine schwache Korrelation ($r = 0,215$).

Bei varriertem Boden : Wasser - Verhältnis (1:20 bzw. 1:50)

sind die Korrelationskoeffizienten ($r = 0,78$ bzw. $0,75$) praktisch dieselben. Das Bestimmtheitsmaß von Wassereextraktions- und Salat-Methode beträgt im Mittel $74,2\%$, d.h. nur $25,8\%$ der Gesamtstreuung sind durch zufällige Fehler bedingt.

Die Regressionskoeffizienten $0,595$ für gedüngte und $0,612$ für alle Varianten besagen, daß das Wasser im Durchschnitt $0,595\text{mg}$ bzw. $0,612\text{mg}$ P_2O_5 mehr extrahiert, wenn die P-Aufnahme durch die Salatpflanze um 1mg P_2O_5 zunimmt. Das bedeutet, daß der Salat diesen Böden etwas mehr Phosphor entnimmt, als die Wassereextraktion es anzeigt. Bei Düngung mit Superphosphat wird das Verhältnis enger ($b=0,637$). Noch günstiger ist das Bild bei ungedüngten Böden, wo im Extraktionsverhältnis $1:50$ fast die gleiche P-Menge ($b=1,056$) wie durch Salat angezeigt wird.

Der Tabelle 26 ist weiterhin zu entnehmen, daß im Mittel aller Varianten die Wassereextraktion $0,497\text{mg}$ P_2O_5 anzeigt, wenn der Salat keinen Phosphor aus dem Boden zu entnehmen vermag.

Eine nochmalige kritische Betrachtung der sämtlichen Werte in Tabelle 26 läßt erkennen, daß unter den erprobten chemischen Extraktionsmethoden sowohl bei den ungedüngten als auch bei den mit Rhenania-, Thomas- und Superphosphat gedüngten Böden die nächste Korrelation bei der H_2O -Extraktion zu verzeichnen war. Auch die niedrigste Regression ($1,06-0,60$) wurde bei der H_2O -Extraktionsmethode angezeigt. Danach folgt hinsichtlich der Übereinstimmung die DL-Methode und zuletzt die NH_4F -Methode. Aus diesen Ergebnissen geht eindeutig hervor, daß die H_2O -Extraktion als die beste unter den geprüften chemischen Methoden angesehen werden muß.

Es ist Überraschend, daß die Wassereextraktionsmethode zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren Bodenphosphates weniger beachtet wird als die anderen chemischen Extraktionsmittel wie z.B. DL, NH_4F , NaHCO_3 etc. Das eingehende Studium der Literatur zeigt jedoch, daß die Wassereextraktions-

methode zu den ältesten gehört (MÜLLER und HOFFMANN, 1863; SCHULTZE, 1864), und schon 1926 veröffentlichte NEMEC einen Bericht über die sehr gute Übereinstimmung der H_2O -Methode mit den Ergebnissen von Felddüngungsversuchen. Auch in Untersuchungen von BURD (1948) in Gefäßversuchen mit Hafer auf einer großen Anzahl von verschiedenen Bodentypen zeigte die durch die Wasserextraktionsmethode (1:50) ermittelte P-Werte die höchste Korrelation mit der P-Aufnahme durch den Hafer. VAN DIEST (1963) fand beim Vergleich verschiedener Extraktionsmethoden die beste Korrelation zwischen P-Aufnahme durch die Tomatenpflanzen und der H_2O -Methode ($r = 0,99$ für 10 Böden bzw. $0,86$ für 8 Böden) bei der Methode nach BRAY (NH_4F) erhielt er die Korrelation $r = 0,70$ bzw. $0,83$. So stimmen zahlreiche Ergebnisse anderer Autoren mit den eigenen Untersuchungen darin überein, daß fast alle chemischen Extraktionsmethoden im allgemeinen nur begrenzt anwendbar sind und daß sie häufig auf Böden mit extremer Bodenreaktion versagen. So fand HALM (1968), daß die NH_4F -Methode nach BRAY und die $NaHCO_3$ -Methode nach OLSEN nur für spezifische Gebiete Ghanas (BRAY für Huhnya, OLSEN für Swedru und Oda-Gebiete) anwendbar sind.

In den Niederlanden ergaben die mit dem Wasserextraktionsverfahren ermittelten Phosphatgehalte des Bodens auffallend hohe Korrelationen mit der P-Aufnahme der Pflanzen. Durch Verbesserung der Methode konnten bei ihrer Prüfung durch Gefäß- und Feldversuche diese guten Korrelationen auf allen untersuchten niederländischen Böden erhalten werden. Die Methode ist somit weitgehend unabhängig von der Herkunft der Böden, dem Gehalt an Humus, Ton, $CaCO_3$ und dem phosphatfixierenden Vermögen des Bodens. Zu diesem Ergebnis haben auch die eigenen Untersuchungen bei einer größeren Zahl mittelafrikanischer Böden geführt und es kann geschlossen werden, daß die Extraktion mit Wasser eine universell anwendbare Methode ist, die auch unter extremen Bodenverhältnissen und bei starker Phosphatarmut befriedigende Auskunft gibt über den Vorrat eines Bodens an pflanzenverfügbarem Phosphat, sowohl bei ungedüngten Böden als auch solchen, die

mit den gebräuchlichen Phosphatdüngemitteln gedüngt sind. Inwieweit die von anderen Autoren für die Wassereextraktion angegebenen Grenzwerte für mittelafrikanische Böden Gültigkeit haben, bedarf allerdings noch der weiteren Untersuchung.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, aus verschiedenen Extraktionsmethoden diejenige zu finden, die bei der Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in tropischen Böden die zuverlässigsten Werte liefert. Für die Untersuchungen standen 25 west- und zentralafrikanische Böden zur Verfügung. Gleichzeitig sollte die P-Wirkung einiger wichtiger Phosphatdüngemittel auf diesen Böden geprüft werden.

In der Einleitung wurde dargelegt, daß die Ermittlung des Nährstoffgehaltes bzw. Düngerbedarfes landwirtschaftlich genutzter Böden eines der schwierigsten Probleme des Pflanzenbaues in den Tropen und Subtropen darstellt, da genauere Kenntnisse über den Nährstoffhaushalt und Erfahrungen in der Mineraldüngeranwendung auf diesen Gebieten noch sehr gering sind.

Nach eingehender Darstellung der Bedeutung des Phosphors ist er nicht nur als unentbehrlicher Bestandteil der Strukturen aller Lebewesen und als Energieträger zu sehen, der in alle Stoffwechselvorgänge steuernd eingreift, sondern es wird auch seine Sonderstellung unter den Pflanzennährstoffen hinsichtlich der Bildung unlöslicher, den Pflanzen schwer zugänglicher Verbindungen im Boden, besprochen. Auf die Besonderheiten tropischer Böden, die Vielzahl der verschiedenen Extraktionsmethoden und somit die Problematik bei der Ermittlung des pflanzenverfügbaren Bodenphosphates wurde eingegangen.

Im ersten Teil der Arbeit wurden die chemischen und physikalischen Eigenschaften der 27 Versuchsböden untersucht, danach folgten die Umsetzungsversuche mit verschiedenen Phosphatdüngemitteln (Rhodania-, Thomas- und Superphosphat) und anschliessend Vegetationsversuche mit Salat. Diese Untersuchungen und Versuche führten zu folgenden Ergeb-

nissen:

1. Die 25 afrikanischen Kulturböden, Sand bis schluffiger Ton, pH 3,8-6,2, weisen, bis auf einige Proben (Nr.10, 15, 17 und 22), eine unzureichende Phosphatversorgung auf.

2. Neben starker P-Sorption auf den stark sauren, bindigen Lehm- bis schluffigen Tonböden ist eine niedrige P-Sorption auf den sandigen Böden anzutreffen.

3. Aus den Umsetzungsversuchen mit verschiedenen Phosphatdüngemitteln und der anschließenden Untersuchung der Böden mittels verschiedener Extraktionsmethoden ergab sich, daß die Doppel-Laktat-Methode bei Thomasphosphat im Vergleich zu den anderen beiden geprüften P-Düngern erhöhte Werte lieferte. Im Durchschnitt aller Proben verhielten sich die DL-Werte auf den gedüngten Böden wie folgt: Rhenania- : Thomas- : Superphosphat = 100 : 124 : 92.

Nach der NH_4F -Methode lagen bei mehr als 70% der untersuchten Böden die Rhenania- und Superphosphatwerte deutlich höher als die des Thomasphosphates. Rh : TH : Super = 100 : 80 : 96. Die Wasserextraktionsmethode zeigte im Durchschnitt aller Proben folgende Phosphatverfügbarkeit an: Rh : Th : Super = 100 : 67 : 78.

Für die Salatmethode ergab sich die folgende relative Verfügbarkeit der einzelnen Phosphatdüngemittel mit Rh : Th : Super = 100 : 87 : 93. Die bei der DL-Methode ermittelte relativ gute Verfügbarkeit des Thomasphosphates wurde also durch die Salatmethode nicht bestätigt. Vielmehr wurde durch die beiden anderen Extraktionsmethoden ebenso wie bei der Salatmethode die geringste relative Löslichkeit für Thomasphosphat ermittelt.

4. Bei sämtlichen untersuchten nigerianischen Latosolen lag das anorganisch gebundene Bodenphosphat vorwiegend in der Eisenform vor (80% der gesamten extrahierbaren anorganischen P-Fraktion); die nächst größere Fraktion stellt

das Aluminiumphosphat dar. Der größte Anteil des Düngersphosphates (Superphosphat) wurde in der Aluminiumfraktion vorgefunden (bis zu 60%), der geringste Anteil in der Calciumfraktion (5%). Die Umwandlung bzw. Festlegung der Superphosphatphosphorsäure setzt bald nach der Düngung ein. Sie wird größtenteils in Al- und Fe-Phosphat überführt und dabei spielte zumindest innerhalb der Versuchsdauer die Bodenreaktion, die Bodenart und die Herkunft keine wesentliche Rolle.

5. Die Salatmethode nach EHRENDORFER erwies sich als brauchbare Vegetationsmethode für diese tropischen mittelafrikanischen Böden. Die Phosphataufnahme der Salatpflanze und bis zu einem gewissen Grade auch der Ertrag scheinen geeignet zu sein, den P-Versorgungsgrad der untersuchten Böden zu charakterisieren.

6. Auf sämtlichen afrikanischen Böden führte eine P-Düngung zu einer Zunahme des Trockenenertrages an Salat. Die Ausnutzung der Dünger- P_2O_5 durch die Salatpflanze ergab zum Teil deutliche Unterschiede für die einzelnen Düngemittel. Diese Unterschiede waren auf stark sauren Böden und auf den P_2O_5 -festlegenden Böden gering. Hier betrug die Ausnutzung für alle drei geprüften Düngemittel etwa 2-5%, mit den niedrigeren Werten für Superphosphat. Auf der Mehrzahl der übrigen Böden erfuhr die P_2O_5 des Rhenaniaphosphates eine erhöhte Ausnutzung. Danach folgte im allgemeinen mit etwas geringerer Ausnutzung das Superphosphat und auf fast allen Böden ergeben sich für das Thomasphosphat die niedrigsten Ausnutzungswerte.

7. Beim Vergleich der chemischen Extraktionsmethoden mit der pflanzenphysiologischen Salatmethode mittels der Korrelationsrechnung ergab sich eine unterschiedliche Übereinstimmung. Für die ungedüngten Böden ergab die $NaHCO_3$ -Methode (OLSEN) mit $r = + 0,497$ die schlechteste Übereinstimmung mit der Salatmethode. Es folgten die NH_4F -Methode (BRAY 1) mit $r = + 0,661$ und die DL-Methode mit $r = + 0,725$. Die beste Übereinstimmung ergab die Wasser-Extraktion

mit $r = 0,780$. Noch stärker als bei den ungedüngten Böden trat die Überlegenheit der H_2O -Extraktion bei den gedüngten Böden in Erscheinung. Mit $r = + 0,824$ war sie der DL-Methode mit $0,461$ eindeutig überlegen.

Diese gute Übereinstimmung der H_2O -Extraktionsmethode mit der Salatmethode sowohl auf den ungedüngten als auch auf den gedüngten Böden führt zu dem Schluß, daß der P-Versorgungsgrad tropischer Böden zutreffend mit der wässrigen Extraktion charakterisiert werden kann. Zur Ermittlung von Grenzwerten für die einzelnen Bodenarten und Bodentypen in den verschiedenen Regionen bedarf es noch eingehender Untersuchungen.

Summary.

Investigations on the phosphorus status of soils of West- and Central-Africa and the effect of different phosphate fertilizers.

The purpose of this thesis was to determine which of the various chemical extracting solutions used to estimate the plant-accessible soil- P_2O_5 would give the best indication of the real plant-accessible phosphate in tropical soils. This investigation was conducted on 25 different soil samples from West- and Central-Africa. Simultaneously the suitability of three important phosphate fertilizers (Rhenania-, Thomas- and Superphosphate) on these soils was tested.

The introduction contains an insight into the problems of the determination of nutrient content and the fertilizer requirements of the arable lands of the tropics and subtropics, owing to the relatively few data on this subject and the limited experience in the use of mineral fertilizers in these areas. After pointing out the importance of phosphorus not only as an indispensable component of the all living organisms and, as energy-carrier, its role in controlling all metabolic processes, its peculiar property in forming insoluble and therefore plant-inaccessible com-

pounds in the soil was discussed. The special characteristics of tropical soils, the plurality of extracting solutions and the posing problems in the determination of plant available soil phosphate were dealt with.

The first part of the work contains the determination of the chemical and physical properties of the 27 soil samples (including 2 samples from West Germany for comparison); this was followed by the incubation experiments with different phosphate fertilizers and finally the vegetation experiments with lettuce seedlings (*Lactuca sativa*, L.). These investigations led to the following results:

1. The 25 arable soils from West- and Central-Africa varying in texture from sand to clay and pH 3,8-6,2 (n KCL) were, with the exception of the samples Nr. 10,15,17 and 22, largely deficient in phosphorus.
2. In contrast to high phosphorus-sorption capacity determined on the strongly acid heavy textured silt-clay soils only very low P-sorption was found on the sandy soils.
3. From the incubation experiments with the different phosphate fertilizers and the extraction of the treated soils with various extracting solutions, it was found, that the Double-Lactate-Method (DL) gave higher values for the samples treated with Thomasphosphate in comparison with the other two phosphate fertilizers. On the average the DL-extraction gave the following relative values:
 Rhenania : Thomas : Super = 100 : 124 : 92
 The Ammoniumfluoride Method (BRAY No.1) gave, in over 70% of the treatment, much higher values for Rhenania- and Superphosphate than for Thomasphosphate treatments.
 Rhenania : Thomas : Super = 100 : 88 : 96.
 The Water-Extraction-Method on the average showed the following relative phosphate availability:
 Rhenania : Thomas : Super = 100 : 67 : 78.

In the vegetation experiments with lettuce the following relative availability of the different phosphate fertilizers was obtained:

Rhenania : Thomas : Super = 100 : 87 : 93.

The relatively superior phosphate availability of the Thomasphosphate fertilizer as indicated by the DL-Method was therefore not confirmed by the vegetation experiment. On the contrary, the other two extraction methods (NH_4F - and H_2O -method) gave just like the lettuce seedling, relatively, the least value for Thomasphosphate.

4. On all the investigated Nigerian soil samples the inorganic phosphate was found to exist in form of ironphosphate (up to 80% of total extracted inorganic phosphate fraction); the next larger fraction was the aluminiumphosphate.

A greater proportion of the added phosphate fertilizer (Superphosphate) was recovered in the Al-Fraction (up to 60%), the least amount recovered was in the Calciumphosphate fraction ($< 5\%$).

The conversion and fixation of added Superphosphate set in soon after fertilizer application. It was to a larger extent converted into Al- and Fe-Phosphate. In this process, at least during the period of the incubation soil reaction, soil type and origin had no noticeable influence on the distribution pattern.

5. The lettuce seedling method of EHRENDORFER could successfully be used as physiological vegetation method for these West- and Central-African soils. Phosphorus uptake by the lettuce plant and to a certain extent also the dry matter production appeared to be suitable in characterising the degree of phosphate nutrition status of these soils.

6. On all the African soils tested phosphate fertilization brought an increase in dry matter yield of the lettuce plant. The utilisation of the fertilizer phosphate by the lettuce plant was on the same soils somewhat

different for each type of fertilizer. These differences were not pronounced on the strongly acid soils and on the highly phosphate fixing soils. The utilisation of each of the three fertilizers examined was almost the same, ranging from 2-5%, with the lower values for Superphosphate. On the majority of the other soils Rhenaniaphosphate showed superior utilisation. This in general was followed by Superphosphate, and almost on all the soils Thomasphosphate gave the lowest fertilizer utilisation.

7. In comparing the chemical extraktion methods with the plant physiological lettuce method, markedly different correlation coefficients were obtained.

On the unfertilized soils the NaHCO_3 -Method of OLSEN gave the lowest correlation with the lettuce seedling method $r = + 0,497$. This was followed by the NH_4F -Method (BRAY No.1) with $r = + 0,661$ and the Double-Lactate-Method with $r = + 0,725$; the best correlation however was obtained with the Waterextraction-method, $r = 0,780$.

The superiority of the Water extraction-method was more strongly pronounced on the fertilized soils as on the unfertilized soils. With the correlation coefficient $r = + 0,824$ the H_2O -Extraction-method was the best compared with $r = + 0,509$ by the DL-Method and $r = + 0,461$ by the NH_4F -Method.

The very good correlation of the H_2O -Extraction-Method with the values of the lettuce seedling method, on both unfertilized and fertilized soils, leads to the conclusion that the phosphorus requirements of tropical soils can be most appropriately measured with the Water-Extraction-Method. Further research is required in order to establish limiting values for each soil type and for the different regions.

VII Literaturverzeichnis

- ACHROMEIKO, A. 1934: Einfluß der Kieselsäure auf die Ausnutzung der Phosphorsäure verschiedenen Ursprungs durch die Pflanze.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. A 33, 340 ff.
- ACQUAYE, D. K., 1963: Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana.
Plant and Soil 19, 65 - 80.
- ANON. 1964/65: Annual Report on the Dept. of Agric. Research.
Federal Ministry of Information, Lagos, 1968.
- ASKINAZI, D.L. et al 1963: Änderungen zur P-Fraktionierungsmethode nach Jackson. Pochvov, H.5 (US-Übersetzung), 1964, 413 - 423.
- BAPAT, M.V. und BEDEKAR, V. G. 1965: Fertilizer Phosphorus in Fractions of Soil Phosphorus.
J. Indian Soc. Soil Sci. 13, Nr. 4 S. 237 - 239.
- v. BEMMELEN, I. M. 1888: Die Absorptionsverbindungen und das Absorptionsvermögen der Ackererde. Landwirtschaftliche Versuchsstationen 35, 69 ff.
- BENNEMA, I. 1963: The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands.
Soil Sci. 95, 250 - 257.

- BEYER, A. 1860: Preuß. Ann. 52, 104
Zit. nach Hoffm. Jahresbericht
11, 67, 1868.
- BLASCO, M.L. und
BOHORQUEZ, N. A. 1968: Fractionation of Phosphorus in
tropical soils of Colombia.
Agrochimica XII, 173 - 178.
- BRAY, R. H. und
KURTZ, L. B. 1945: Determination of Total, organic and
available forms of Phosphorus in
soils.
Soil Sci. 59, 39 - 45.
- BURD, J. S. 1948: Chemistry of the Phosphate ion in
soil systems.
Soil Sci. 65, 227 - 248.
- BURGESS, P. S. 1922: The soil solution extracted by Lipp-
manns direkt pressure method Compared
with 1:5 water extracts.
Soil Sci. 14, 191 - 212.
- CHANG, S. C. 1965: Application of Phosphorus Fractio-
nation to the Study of the Chemistry
of available soil Phosphorus.
Soils and fertilizers Taiwan,
1965, 1 - 15.
- CHANG, S. C. and
CHU, W. K. 1961: The fate of soluble Phosphate
applied to soils.
J. Soil Sci. 12, 287 - 293.
- CHANG, S. C. and
Jackson, M. L. 1957: Fractionation of soil Phosphorus.
Soil Sci. 84, 133 - 144.

- CHANG, S. C. and Jackson, M. L. 1958: Soil Phosphorus Fraction in some representative soils.
J. Soil Sci. 9, 109 - 119.
- CHANG, S. C. and JUO, S. R. 1963: Available Phosphorus in Relation to forms of Phosphates in soils.
Soil Sci. 95, 91 - 96.
- CROWTHER, E. M. 1949: Soil fertility problems in tropical Agriculture. Commonw. Bur. Soil Sci., Techn. Comm. No. 46
- DAVIES, K. A. 1949: The Phosphate deposits of Eastern Uganda.
Commonw. Bur. Soil Sci., Techn. Commun. Nr. 46
- DEAN, L. A. 1938: An Attempted Fractionation of soil Phosphorus.
J. Agric. Sci. 28, 243 - 246.
- DIRKS, B. and SCHEFFER, F. 1928: Landwirtschaftl. Jahrbücher 67, 779.
- DIRKS, B. and SCHEFFER, F. 1930: Der Kohlensäure-Bikarbonat- und der Wasserauszug als Grundlage zur Ermittlung der leichtlöslichen Bodenphosphorsäure und des Bodenkalis.
Das Superphosphat 6, 75 - 80.
- DYER 1894: Journal of the Chemical Society.
Vol. LXV, March 1894.
- EDELMANN, C. H. and VAN DER VOORDE, P.K.S. 1963: Important characteristics of Alluvial soils in the Tropics.
Soil Sci. 95, 258 - 263.

- EGNER, H. 1941: The Egner lactate method for Phosphate Determination.
Amer. Fertilizer 94, 5, 22, 24
- EHRENDORFER, K. 1957: Die Salatmethode.
Die Bodenkultur 9, 275 - 297.
- EHRENDORFER, K. 1958: Untersuchungen über Angebot und Aufnahme der Hauptnährstoffe,
I. Teil.
Z. Acker- und Pflanzenbau 105, 301-328.
- EHRENDORFER, K. 1958: Untersuchungen über Angebot und Aufnahme der Hauptnährstoffe, II. Teil.
Z. Acker- und Pflanzenbau 106, 58-74.
- DE ENDREY, A.S und MONTGOMERY, C. W. 1954: Some Nutrient Aspects of the Gold Coast Forest Soils.
Trans. 5th International. Congr. Soil Sci. 3, 268 - 273.
- ENWEZOR, W. O. 1967: Significance of the C:Org.P Ratio in the Mineralization of soil Org. Phosphorus.
Soil Sci. 103, 62 - 65.
- ENWEZOR, W. O. and MOORE, A. W. 1966: Phosphorus Status of some Nigerian Soils,
Soil Sci. 102, Nr.5, S. 322 - 328.
- ENWEZOR, W. O. and MOORE, A. W. 1966: comparison of two methods for Determining Organic Phosphorus in some Nigerian Soils. Soil Sci. 102, Nr. 4, 284-5.

- SSBENDER, H. W. 1968: Phosphate Retention an it's
Different Chemical forms under
Laboratory Conditions for 14 Costa
Rica Soils.
Agrochimica XII, Nr. 6, 512 - 521
- SSBENDER, H.H.W. und
ller, L. 1967: Uso de Enmiendas Silicatadas en
Suelos Altamente Fijadores de Fos-
fatos.
Turrialba 17, 371 - 375.
- FE, C. V. 1959: An Evaluation of NH_4F as a Selective
Extractant for Aluminium bound soil
Phosphate, II. Soil Sci. 87, 83-88.
- ENCK, A. 1963: Tropische Böden.
P. Parey-Verlag, Hamburg und Berlin.
- TSHER, R. und
OMAS, R. P. 1935: J. Amer. Soc. Agron. 27, 863 - 873
- ORDE et al. 1966: Die Bedeutung des Kaliums in der
Ernährung der Ölpalme in Nigeria.
Kali-Briefe, Fachgeb. 27, 46.
Folge, Bern, Schweiz.
- RAPS. G. S. 1906: Availability of Phosphoric Acid
of the soil.
J. Amer. Soc. Agron. 28, 823 - 834.
Zit. nach Chang u. Jackson,
Soil Sci. 84, 1957
- RIEND, M. T. and
irch, J. F. 1960: Phosphate responses in Relation to
the soil tests and organic Phos-
phorus.
J. Agr. Sci. 54, 341 - 347.

- GANSSMANN, W. 1961: Über die Siliziumbestimmung in Pflanzen und die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen bei Siliziumdüngung. Diss. Gießen
- GANNMANN, W. 1962: Untersuchungen über den Einfluß der Kieselsäure auf die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen. Die Phosphorsäure 22, 223 - 241.
- GERICKE, S. und KURMIES, B. 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. Z. Pflanzenernähr. Düng., Bodenkunde, 59, 235 - 247.
- GHANI, M. O. 1943: Fractionation of soil Phosphorus, I. India J.Agric. Sci. 13, 29 - 45.
- GLINTIC, M. 1966: Retrogradation of Phosphoric Acid from Superphosphate an it's availability in Acid soil of Serbia. Thesis Belgrad.
- GOUROU, P. 1961: The tropical world. It's social and economic Conditions and it's future Status. 3rd edition, Longmans, London.
- GREENE, H. 1954: Fertilizer prospects in Africa. Trans. 5th Int. Congr. Soil Sci. Leopoldville 1954, Vol. I, 146-175.
- GREENWOOD, M. 1951: Fertilizer Trials with Groundnuts in N.-Nigeria. Emp.J.Expt.Agric. 19, 225 ff.

- GREENWOOD, M. 1954: Sulfur Deficiency in Groundnuts in Northern Nigeria.
Trans. 5th Int. Congr. Soil Sci. 3, 245 - 251.
- HALM, A. T. 1968: Correlation of soil tests for available P with crop Yield.
Ghana J. Agr. Sci. 1, 29 - 33
- HARDY, F. and RODRIGUEZ, G. 1949: Methods of routine soil Examination at the Imperial College of tropical Agriculture, Trinidad;
Commun. Bur. Soil Sci. Techn. Commun. Nr. 46, 220 - 225.
- HARTLEY, C.W.S. und GREENWOOD 1933: Emp. J. Exp. Agric. 1, 112-21.
- HARTLEY, K. T. 1937: Emp. J. Exp. Agric. 5, 254-263.
- HARTLEY, C.W.S. 1958: Advances in oilpalm research in Nigeria in the last twentyfive years.
Emp. J. Exp. Agric. 26, Nr. 102, 136-151.
- HARTLEY, C.W.S. 1968: The soil relations und fertilizer requirements of some permanent crops in West - and Central Africa. In the soil resources of Tropical Africa. Edited bei Moss. Cambridge University Press 1968.
- HASENBÄUMER, J. 1931: Die Feststellung der Nährstoffbedürftigkeit des Bodens. In F. Honcamp: Handbuch der Pflanzenernährg. u. Düngerlehre, 1. Band, 771 - 806.
- HAYASCHI, T. und TAKIJAMA, Y. 1955: Studies on utilization of soil organic Phosphorus to crop plants. III.
J. Soil Sci. Tokyo 26, 215 - 218.

- HESSE, P. R. 1958: Sulfur and Nitrogen Changes in Forest soils of East Africa. Plant and soil 2, 86-96.
- HESSE, P. R. 1963: Phosphorus relationship in an mangrove swamp mud with particular reference to aluminium toxicity. Plant und soil, 19, 205 - 217.
- d'HOORE, J. 1956: Pedological comparisons between tropical South Africa und Tropical Africa. Afr. soils 4, 5-19.
- IGNATIEFF, V. and PAGE, M. J. 1960: Efficient use of fertilizers. FAO Agric. studies Nr. 43, Rome.
- IVANOV, P. 1965: Reserves and forms of soil Phosphates in black Earth of North-West Part of Bulgaria. Restenievudni nauki, Sofija, 2 (6), 37-47.
- JACOB, A. 1933: Die Anwendung der Neubauer-Methode zur Untersuchung tropischer Böden. Die Ernährung der Pflanze, H. 15P16, 290 - 295.
- JAHN-DEESBACH, W. 1955: Über den Gehalt der Böden an organisch gebundener Phosphorsäure und deren Wert für die Pflanze. Die Phosphorsäure 15, 197 - 202.

- JAHN-DEESBACH, W. 1956: Untersuchungen über den Bindungs-
zustand der Phosphorsäure in einigen
europäischen Schwarzerdeböden.
Z. Pflanzenernähr., Düngg., Bodenkde.
74, 97 - 111.
- JONES, G. H. G. 1959: Local supplies of Phosphates, the
Preparation of Soda Phosphates and
some notes on the nutritional value.
Bull. Agric. Congo, Belge, 40,
2044 - 2050.
- JUNG, W. 1952: Chemische und pflanzenphysiologische
Untersuchungen über die Einwirkung
von Fluor auf Phosphat. Diss. Gießen.
- KAILA, A. 1961: Fertilizer Phosphorus in some finnish
soils. J.Sci.Agric.Soc. Finland, 33,
131 - 139.
- KANWAR, J.S. 1956: Phosphate retention in some Austral-
ien soils.
Soil Sci. 82, 43 - 50.
- KAPPEN, H. 1929: Die Bodenazidität.
J. Springer, Berlin, 1929, 320-326.
- KELLOGG, C. E. 1953: Potentialities and problems of arid
soils.
Desert Res.Proc.Intern.Symp. 1953.
- KICK, H. 1963: Über den Nährstoffgehalt ägyptischer
Böden. Z. Pflanzenern., Düngg.Boden-
kde. 100, 102 - 114.
- KHANNA, P. K. und
DATTA, N. P. 1967: Distribution of inorganic soil
Phosphorus in some Indian Soils as
affected by added phosphates.
Indian J.Agric.Sci. 38, 668 - 676.

KHANNA P. K. und
ULRICH, B.

1967: Phosphat-Fraktionierung im Boden
und isotopisch austauschbares
Phosphat verschiedener Phosphat-
fraktionen.
Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenkde.
117, 53 - 65.

KHIN, A. and
LEEPER, G. W.

1960: Modifications in Chang and Jacksons
procedure for Fractionating soil
Phosphorus.
Agrochimica 4, 246 - 254.

KNICKMANN, E.

1962: Kieselsäure als Düngemittel.
Die Phosphorsäure 22, 213 - 222.

KNOP, W.

1968: Kreislauf des Stoffes, 1,504.
2,173, Leipzig.

KÖHN, M.

1928: Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde,
A11, 50-54

LE MARE, P. H.

1959: Soil fertility studies in three areas
of Tanganyika.
Emp.J.Exper.Agric. 27, 197 - 222.

LEMMERMANN, O. et al

1925: Untersuchungen über die Ursache
der ertragssteigernden Wirkung
der Kieselsäure.
Z. Pflanzenernährung, Düng., Bodenkde.
A4, 265 - 325.

v. LIEBIG, J.

1855: Über Kieselsäurehydrat und kiesel-
saures Ammoniak.
Ann.Chem. und Pharm. 94, 373.

- MAHAPATRA, I. C. and
PATRICK, W. H. 1969: Inorganic phosphate transformation
in waterlogged soils.
Soil Sci. 107, 281
- MADL, W. 1960: Bindung und Verteilung d. Phosphors
in Böden d. Bayrischen Moränenland-
schaft.
Diss.Univ. München
- MEYER, L. 1940: Die Bedeutung des biol. Faktors
für die Aufrechterhaltung d. Er-
träge trotz der Verknappung d.
Phosphorsäuredüngemittel.
Die Phosphorsäure 8, 199-213.
- MITSCHERLICH, E.A. 1927: Bodenkundliches Praktikum.
J. Springer, Berlin
- MÜLLER und HOFFMANN, R. 1863: Über Qualität und Quantität der
aus der Ackererde durch reines
Wasser aufnehmbaren Bodenbestand-
teile.
Landw.Versuchsstation 5, 193-197.
- MURPHI, H. F. 1939: Die Rolle des Kaolinit bei der
Festlegung der Phosphorsäure.
Hilgardia 12, 343 - 382.
- NEMEC, A. 1926: Ein neues Verfahren zur raschen
Bestimmung des Düngerbedürfnisses
der Ackerböden.
Dtsch.landw.Presse 53, 463.
- NEUBAUER, H. 1923: Die landwirtschaftl. Versuchs-
stationen 100, S. 119.
- NYE, P. H. 1951: Studies on the fertility of Gold
Coast Soils Part II. The nitrogen
status of the soils.
Emp.J.Exp.Agric. 19, 275 - 282.

- NYE, P. H. 1952: Studies on the fertility of Gold Coast Soils Part III. The phosphate status of the soils. *Emp.J.Exp.Agric.* 20, 47 - 55.
- NYE, P. H. 1953: A survey of the value of fertilizers to the Foodfarming areas of the Gold Coast. *Emp.J.Exp.Agric.* 21, 176-183.
- NYE, P. H. and BERTHEUX, M. H. 1957: The Distribution of Phosphorus in forest and savanna soils of the Gold Coast, and its agricultural significance. *J.Agric.Sci.* 49, 141 - 159.
- NYE and STEPHENS, D. 1962: Soil fertility. In: Agriculture and land use in Ghana. Edit. J.B.Wills, Accra, 1962
- OBIGBESAN, G. O. 1967: Die Anpassung von Düngemitteln, Düngungsverfahren u. Ausbringungsverfahren an tropische Verhältnisse am Beispiel Nigerias. Dipl.Arbeit, Gießen, 1967.
- OFORI, C. S. 1968: Pesticide effect on phosphorus absorption from fertilizer pesticide mixtures. Ghana, *J.Agr.Sci.* 1, 99-102.
- OFORI, C. S. 1968: An evaluation of direkt, residual and cumulative effects of various phosphatic fertilizers on some tropical soils. Ghana, *J.Agric.Sci.* 1, 133-142.

- OLSEN, S.R. et al 1954: Estimation of available phosphorus in soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Us Dept.Agr.Circ., Nr. 939,19.
- OYENUGA, V. A. 1967: Agriculture in Nigeria. FAO, United Nation, Rome, 1967.
- PAAUW, F. van der, 1968: Die Entwicklung u. Verwertung einer neuen Wasserextraktionsmethode. Mitteilungen d. Verbandes Deutscher Landwirtschaftl. Untersuchungs- u. Forschungsanstalten, Nr. 6
- PARISH, D. H. et al 1965: The phosphorus status of Mauritius soils as determined by Chemical Extractants and foliar diagnosis. Maur.Sugar Ind.Res.Inst.ann.Rep. 1965, S. 56 - 59.
- PIGGOT, C. J. 1956: The maintenance of fertility in Sierra Leone Soils. Rapp. VI^e Congr.Int.Sci.Sol.Paris, 1956, Vol.D, S. 213 - 216.
- RAUTERBERG E. und
ALI DERVISH, D. 1967: Korrelation zwischen Bodenuntersuchungsergebnissen auf Phosphatbedürftigkeit, ermittelt nach 20 Methoden. Z. Pflanzenern., Bodenkde., 118, 85 - 100.

RAUTERBERG, E. und
ALI DERVISH, D.

1967: Die Löslichkeit von Phosphor, Eisen, Calcium u. Magnesium bei Behandlung v. Böden mit Lösungen d. Ammoniumsalzes der (NH_4 -EDTA). Z.Pflanzenern. u. Bodenkde. 118, 73 - 80.

RAUTERBERG, E. und
ALI DERVISH, D.

1967: Extraktion v. Phosphor aus Böden mit dem Ammoniumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure unter verschiedenen Bedingungen. Z. f. Pflanzenern. u. Bodenkde. 118, 80 - 84.

RIEHM, H. und
ULRICH, B.

1954: Quantitative kolorimetr. Bestimmung d. org. Substanz im Boden. Landw. Forschg. 6, 173 - 176.

ROEHMER, TH. und
SCHEFFER, F.

1929: Untersuchungen nach der Keimpflanzenmethode Neubauer unter Anwendung von Reis als Versuchsfrucht. Die Ernährung d. Pflanze, 25, 532-535.

ROGERS, H.T. et al

1940: Absorption of organic phosphorus by corn and tomato plants. Proc. Soil Sci. Amer. 5, 285 ff.

SAUNDERS, W.M.H. and
WILLIAMS, E.G.

1955: Observations on the determination of total organic P in soils. J. Soil Sci. 6, 254 - 267.

- SAUNDER, D. H. 1956: Determination of available phosphorus in tropical soils by Extraction with Sodium Hydroxide. Soil.Sci. 82, 457 - 463.
- SHELTON, J.E. u. COLEMAN, N.T. 1968: Inorganic P-Fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 32, 91-94.
- SCHARRER, K. und KÜHN, H. 1955: Studien über die Aufnahme d. Phosphorsäure aus markiertem Superphosphat. Land.Forsch. 7, 153 - 159.
- SCHOKALSKAJA, S. jun. 1953: Die Böden Afrikas. Akademie-Verlag, Berlin.
- SCHUFFELEN, A.C. et al 1961: Quick-tests for soil and plant analysis used by small laboratories. Netherl.J.Agric.Sci. 2, 2 - 16.
- SCHULTZE, F. 1864: Über den Phosphorsäuregehalt des Wasserauszuges d. Ackererde. Landw. Versuchsstation 6, 409-412.
- SISSINGH, H.A. 1968: Die Lösung der Phosphorsäure bei wässriger Extraktion in Verb. mit d. Entwicklung einer neuen P-Wasser-Methode. Mitteil.Verb.Deutscher Landwirtschaftl. Untersuchungs- u. Forschungsanstalten, Nr. 6

- SOMMER, G. 1966: Untersuchungen zur Fraktionierung des anorg. Phosphors im Boden. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde 113, 215 - 225.
- SOMMER, G. 1967: Festlegung v. wasserlöslichem Düngерphosphat in versch. Böden. Mitt. Verb. Deutsch. Landw. Unters. u. Forschungsanstalten, Nr. 1.
- STEWART, A. B. 1947: Report on soil fertility investigation in India. Dehli, Army Press.
- STOREY, H. H. and LEACH, R. A. 1933: A sulfur deficiency disease of the tea bush. Ann. Appl. Biol. 20, 23 ff.
- SÜCHTING, H. 1942: Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse d. Waldes VIII. Bodenkunde u. Pflanzenern. 28, 340-361.
- TAYLOR, A.W. and GURNEY, E. L. 1965: Precipitation of phosphate by Iron Oxide and aluminium hydroxide from solutions containing calcium and potassium. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 29, 18-22.
- THEMLITZ, R. 1941: Wirkung v. Phosphorsäuredüngern auf drei versch. kalkhaltigen Bodenarten. Z. Pflanzenern. Düng. 23, 71 - 82.

THOMPSON, L. F. u.

PRATT, P. F.

1954: Solubility of phosphorus in chemical extractants.
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 18,
467 - 470.

THORNTON, S. F. et al

1934: The use of rapid chemical tests on soils, Purdue Univ. Agric. Exp. Sta. Circ. 204.

TINKER, P. B. H. and

ZIBOH, C. O.

1959: A study of some typical soils supporting oil palms in Southern Nigeria.
J. West. Afr. Inst. f. oil palm res. 2,
16 - 51.

TRUOG, E.

1930: The determination of the readily available phosphorus of soils.
J. Amer. Soc. of Agr. 22, 874 - 882.

TURNER, R. C. und

RICE, H. M.

1954: Role of fluoride ion in release of phosphate.
Soil Sci. 74, 141 - 148.

UNAMBA-OPARAH, I.

1963: Untersuchungen über den Nährstoffhaushalt an zwei Böden Südost-Nigerias. Beitr. z. trop. u. subtr. Landw. und Tropenveterinärmed.
Karl-Marx-Univ. Leipzig, H. 2,
S. 53 - 69.

UNAMBA-OPARAH, I.

1968: Beiträge zur Kenntnis d. Nährstoffhaushaltes wichtiger Böden d. humiden Tropen.
Albrecht-Thaer-Arch. 12, 435 - 448.

- VAN DIEST, A. 1963: Soil test correlation studies on New Jersey soils, I, Soil Sci. 96, 261 - 266.
- VENEMA, C. W. 1961: Some notes on pH, lime status, lime requirement and liming of subtropical and tropical soils. Potash review, Subj. 5.Aug.
- VERMAAT, J.G. 1963: Experimentation on cultivators fields with special reference to Pakistan. Soil Sci. 95, 281 - 282.
- VINE, H. 1954: Is lack of fertility of tropical African soils exaggerated? Prec. of 2nd Int.Afr.Soils Conf. 1, 389 - 412.
- VINE, H. 1956: studies of soil profiles at the WAIFOR mainstation, J.W. Afr. Inst. f. oil palm res. 1, 8 - 59.
- VINE, H. 1959: A preliminary survey of Nigerian soils. Soil survey memoir Nr. 1, W.Reg. Dept. of Agric. Nigeria.
- WAGNER, E. 1969: Die Beeinflussung der P_2O_5 -Bodenuntersuchungswerte durch einzelne Düngemitteltypen. Lufa-Tagung, Würzburg. 1969.
- WALKER, T. W. u. ADAMS, F.R. 1958: Studies on soil org. matter, I. Soil Sci. 85, 307 - 318.

- WAY, T. 1850: J. Roy. Agric. Soc. Eng. II, 313 ff.
- WENZEL, W. 1956: Aufschluß des Bodens mit Salpetersäure u. Überchlorsäure zur Bestimmung d. Gesamtphosphorsäure. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde, 75, 216.
- WERNER, W. 1969: Kennzeichnung d. pflanzenverfügbaren Phosphates nach mehrjähriger Düngung. Z. Pflanzenern. u. Bodenkde. 122, 19 - 32
- WERNER, W. 1969: Die Bedeutung kalk- u. silikathaltiger Phosphatdünger für die Düngung von Latosalen. Der Tropenlandwirt, 70 Jg., 57-61.
- WIECHMANN, H. 1966: Phosphor-Verteilung in den Kornfraktionen von Böden bei Düngung mit Superphosphat und Thomasphosphat. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde. 115, 123 - 133
- WIECHMANN, H. 1968: Phosphor-Verteilung in den Kornfraktionen von Böden bei Düngung mit Superphosphat und Thomasphosphat. Kali-Briefe 9/1968, Fachgeb. 1, Folge 1
- WIER, D. R. u. BLACK, C. A. 1968: Mineralization of organic phosphorus in soils as affected by addition of inorganic phosphorus. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 32, 51 - 55.

- WILLIAMS, R. 1937: The solubility of soil phosphorus in sodium hydroxide solution. J. Agr. Sci. 27, 260 - 270.
- WRANGEL, M. V. u. MEYER, L. 1926: Untersuchungen über den "wurzel-lösl." Anteil d. Bodenphosphorsäure. Landw. Jahrbücher 63, 739-775.
- WRANGEL, M. V. 1926: Über Bodenphosphate u. Phosphorsäure-Bedürftigkeit. Landw. Jb. 63, 627-775.
- YAALON, D. H. 1957: Problems of soil testing on calcareous soils. Plant and soil 8, 275 - 288.
- YOUNGE, O. R. u. PLUCKNETT, D. L. 1966: Quenching the high phosphorus fixation of Hawaiian Latosols. Proc. Soil Sci. Amer. 30, 653-655.
- ZELLER, W. 1930: Langjährige Düngungsversuche in Kamerun. Der Tropenpflanzer.

Meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. Linser, der mir die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit gab, möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas und das mir jederzeit erwiesene Entgegenkommen herzlich danken.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. H. Kühn, für seine stete Hilfsbereitschaft und wertvollen Ratschläge bei der Durchführung der Versuche sowie sein Interesse am Fortgang dieser Arbeit. Herrn Prof. Dr. W. Höfner danke ich sehr für seine Hinweise und freundliche Beratung bei den Isotopen-Versuchen sowie Herrn Dr. J. Bohring für seine Unterstützung bei den statistischen Auswertungen.

Bei Fräulein Balser und Frau Rutenberg bedanke ich mich für ihre Hilfe bei der Durchführung der Salatversuche aber auch allen anderen Angehörigen des Instituts für Pflanzen-ernährung für ihr freundliches Entgegenkommen.

Lebenslauf

Am 23.12.1941 wurde ich, laut amtlichen Angaben, als Sohn des Landwirts Ezekiel J. O b i g b e s a n und seiner Ehefrau Efusola O b i g b e s a n , in Ijebu-Igbo, Nigeria, geboren. Ich besuchte die Volksschulen Ibadan Peoples Girls School 1946-49, Methodist School Agbeni Ibadan 1950, Igbo-Ora 1951/52 und Iwo 1953, wo ich die Abschlußprüfung ablegte.

Vom Sept. 1954 besuchte ich das Edo College, Benin City, wo ich 1959 die "West African School Certificate Examinations" der Universität Cambridge ablegte. 1960-61 studierte ich Chemie, Botanik und Zoologie im Government College Ibadan zum Erwerb des Reifezeugnisses (Higher School Certificate der Universität Cambridge) im Dez. 1961. Danach besuchte ich ein Semester lang die University of Ibadan 1962.

1963 erhielt ich ein Studienstipendium des Landes Hessen und reiste im Mai 1963 nach Deutschland. Einem sechsmonatigen Sprachkursus im Goethe Institut Degerndorf/Inn und Bad Reichenhall folgte meine Immatrikulation an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Justus Liebig-Universität Gießen zum Wintersemester 1963/64.

Meine Praktikantenzeit absolvierte ich 1966 an der Landwirtschaftlichen Forschung Hanninghof, Dülmen/Westf., sowie auf dem Versuchsfeld der Universität Gießen, Groß-Gerau von März bis April 1967. Im Sept. 1967 legte ich die landwirtschaftliche Diplomprüfung mit dem Prädikat "sehr gut" ab.

Seit Nov. 1967 bin ich beschäftigt mit der Anfertigung der vorliegenden Dissertation am Institut für Pflanzenernährung der Universität Gießen.

